

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky

DIPLOMOVÁ PRÁCE

**VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra Informatiky**

Analýza přechodu koaxiální sítě na RFoG

Analyse of Coaxial Network Conversion to the RFoG

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra informatiky

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Marek Smolka**
Studijní program: N2647 Informační a komunikační technologie
Studijní obor: 2612T059 Mobilní technologie
Téma: **Analýza přechodu koaxiální sítě na RFoG**
Analyse of Coaxial Network Conversion to the RFoG

Zásady pro vypracování:

RFoG je optická síť, která představuje budoucnost koaxiálních sítí v klasické HFC struktuře a umožňuje snadnou migraci optického nódu směrem k zákazníkovi. Úkolem studenta je navrhnout v laboratorních podmínkách síť RFoG na bázi sítě GePON a ověřit její přenosové vlastnosti z hlediska kvality poskytovaných služeb (Internet, datové služby, VoD, IPTV). Jako výsledek této práce se očekává stanovení míry vlivu parametrů sítě RFoG (GePON) na kvalitu poskytovaných služeb.

1. Vývoj infrastruktury FTTx v souvislosti s optickou sítí typu RFoG.
2. Popište problematiku nasazení RFoG v klasické HFC struktuře.
3. Navrhněte v laboratorních podmínkách pasivní optické sítě GePON s využitím programu Optiwave OptiSystem síť typu RFoG.
4. Proveďte analýzu vlivu parametrů RFoG (GePON) na kvalitu poskytovaných služeb (Internet, datové služby, VoD, IPTV).

Seznam doporučené odborné literatury:

BRILLANT, Avigdor. *Digital and Analog Fiber Optic communications for CATV and FTTx applications*. Hoboken, New Jersey 07030: John Wiley & Sons, Inc., 2008. 1055 s. ISBN 978-0-8194-6757-7.
LAM, Cedric. *Passive Optical Networks: Principles and practice*. Oxford: Elsevier Inc., 2007. 324 s. ISBN 978-0-12-373853-0.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Petr Koudelka**

Datum zadání: 19.11.2010
Datum odevzdání: 06.05.2011



doc. Dr. Ing. Eduard Sojka
vedoucí katedry



prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě dne 5.5.2022

.....

(podpis)

Poděkování

Děkuji vedoucímu své diplomové práce, Ing. Petru Koudelkovi, za odborné vedení, cenné rady, připomínky a pomoc při zpracování této práce.

Dále bych chtěl poděkovat Ing. Pavlu Zubkovi ze SŠ teleinformatiky, za odbornou pomoc z oblasti přenosových sítí.

ABSTRAKT

Diplomová práce je zaměřena na analýzu přechodu koaxiální sítě na RFoG. Práce je rozdělena na teoretickou a praktickou část. V teoretické části jsou uvedeny jednotlivé přenosové trasy, popsány optické přístupové sítě a architektura RFoG. Závěrečná kapitola teoretické části je věnována televiznímu vysílání, kde jsou porovnány rozdíly klasické TV a IPTV. Je zde uvedena rovněž problematika kabelové televize.

Praktická část byla zaměřena na realizaci sítě GEPON v laboratorních podmínkách. Dále je v této části popsána konfigurace DHCP a multicastu. Rovněž je zde uvedena instalace programu VLC a zprovoznění Hybridní DVB – T karty v operačním systému UBUNTU. Součástí praktické části jsou také naměřené rychlosti a Flow Graphy. V závěru práce je provedeno zhodnocení naměřených výsledků a vyhodnocení grafů.

Klíčová slova:

pasivní optická síť, aktivní optická síť, optická vlákna, koaxiální kabel, kabelová televize

ABSTRACT

The thesis focuses on the analysis of transition RFoG to coaxial network. Work is divided into theoretical and practical section. The theoretical section provides various transmission paths, described optical access network architecture RFoG. The final chapter of this part is devoted to television broadcasting, where differences are compared to traditional TV and IPTV. There appears also the issue of cable television.

The practical part was focused on completing the network GEPON under laboratory conditions. Furthermore, This part describes the configuration of DHCP and multicast. There is also a listed PLC program installation and commissioning of Hybrid DVB - T-card operating system Ubuntu. The practical part also measured the speed and Flow Graph. In conclusion is an evaluation of the measured results and evaluation charts.

Keywords:

passive optical network, active optical network, optical fiber, coaxial cabel, cabel television

Seznam použitých symbolů a zkratek

AON	Active Optical Network
AWG	Arrayed Waveguide Grating
DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol
DWA	Dynamic Wavelength Assignment
FTTx	Fibre to the ...
HFC	Hybrid Fiber – Coaxial
MM	Multimode.
OLT	Optical Line Terminal
ONU	Optical Network Unit
PE	Polyethylen
PON	Passive Optical Network
P2MP	Point to Multipoint
P2P	Point to Point
QoS	Quality of Service
RFoG	Radio Frequency over Glass
SM	Singlemode
TDMA	Time Division Multiplex
WDM	Wavelength Division Multiplex

OBSAH

1	Úvod	1
2	Typy přenosových tras	2
2.1	Koaxiální kabel	2
2.2	Kroucený pár	2
2.3	Optický kabel	3
2.4	Bezdrátový přenos	3
3	Optické přístupové sítě	5
3.1	Architektury FTTx	5
3.1.1	Typy sítí FTTx	5
3.1.2	Pasivní optická síť (PON)	7
3.1.2.1	APON, BPON	7
3.1.2.2	GPON	8
3.1.2.3	EPON	8
3.1.2.4	10GEPON	9
3.1.2.5	Technologie TDM a WDM	9
3.1.2.6	Porovnání základních variant PON	10
3.1.3	Aktivní optické přístupové sítě (AON)	11
4	Architektura RFoG	13
4.1	Co je lepší v RFoG?	14
4.2	Porovnání sítí RFoG a PON	15
4.3	Typy sítí RFoG:	16
5	Televizní vysílání	17
5.1	Technologie IPTV	17
5.2	Rozdíl mezi klasickou TV a IPTV	17
5.2.1	Klasická TV	17
5.2.2	Přenos IPTV	18
5.3	Kabelová televize	18
5.3.1	Analogová kabelová televize	18
5.3.2	Digitální kabelová televize	19
5.3.2.1	Kompresní formáty	19

6	Realizace streamování videa	20
6.1	DHCP	20
6.1.1	Konfigurace DHCP na L3 přepínači	20
6.2	Multicast	21
6.2.1	Používané protokoly multicastu.....	22
6.2.2	Nastavení multicastu	24
6.3	Konfigurace sítě GEAPON.....	25
6.4	Instalace TV karty Pinnacle 330e	26
6.5	Dostupnost DVB-T signálu	27
6.6	VLC media player	27
6.6.1	Instalace VLC	27
6.6.2	Lokální přehrávání	28
6.6.3	Typy modulů pro streamování	28
6.6.4	Streamování videa.....	29
6.6.4.1	Unicastové streamování	29
6.6.4.2	Streamování z jiných zdrojů video signálu	31
6.6.4.3	Broadcastové streamování	32
6.6.4.4	Multicastové streamování	33
6.6.5	VideoLan Manager (VLM).....	35
6.6.5.1	Příkazy VLM	36
6.6.5.2	Praktické použití elementů.....	37
6.6.5.3	Video na přání.....	38
6.6.6	Vytvoření seznamu zdrojů signálu	42
7	Závěr	43
	Seznam použité literatury	45
	Seznam obrázků	47
	Seznam tabulek	48
	Seznam příloh.....	49

1 Úvod

Tématem mé diplomové práce je analýza přechodu koaxiální sítě na RFoG. V současné době se moderní člověk neobejde bez datové komunikace. Na propojení s okolním světem jsou závislí nejen jednotlivci, ale i celé organizace a instituce. Za jeden z nejvýznamnějších technologických objevů druhé poloviny 20. století lze považovat přenos signálu optickým vláknem. Objevení tohoto optického přenosu bylo zásadní pro rozvoj moderních multimediálních služeb.

Výhodou optických vláken je nesrovnatelně vyšší přenosová kapacita ve srovnání s metalickými sítěmi. V současnosti se stále zmenšují celosvětové zásoby mědi, a proto z pohledu výroby je výroba optického vlákna z křemičitého skla levnou záležitostí. Optické přenosy jsou odolné proti odposlechu a proti rušivým vlivům vnějšího okolí. Optická vlákna umožňují přenos na dlouhé vzdálenosti díky nízkému vložnému útlumu. Pokud je optická síť správně nainstalovaná, nevyžaduje žádnou údržbu. Na základě těchto výhod se stále častěji používají optické kabely v přístupových sítích.

Diplomová práce je rozčleněna do sedmi kapitol. Druhá až pátá kapitola se zabývá teoretickou částí a v páté kapitole je rozepsaná praktická část. Druhá kapitola je věnována jednotlivým typům přenosových tras, mezi které patří koaxiální kabel, kroucený pár, optický kabel a bezdrátový přenos. K těmto přenosovým trasám jsou uvedena čísla doporučení a norem. Třetí kapitola se zabývá optickými přístupovými sítěmi. Jsou zde rozčleněny jednotlivé architektury a typy FTTx sítí. Čtvrtá kapitola je zaměřena na architekturu a typy sítí RFoG. Dále na základě tabulky porovnávám výhody a nevýhody sítí RFoG a PON. V poslední kapitole teoretické části se věnuji televiznímu vysílání. Popisuji zde technologie IPTV, rozdíly mezi klasickou TV a IPTV. Část kapitoly se rovněž zabývá kabelovou televizí, analogovým a digitálním přenosem.

Větší část mé diplomové práce tvoří praktická část, která je obsažena v šesté kapitole. Jsou zde popsány jednotlivé kroky potřebné k realizaci streamování videa přes GEPON. V úvodní části této kapitoly jsem se věnoval popisu konfigurace DHCP a multicastu na L3 přepínači. Dále jsem se zaměřil na sestavení a zprovoznění sítě GEPON v laboratorních podmínkách. Ve zbývajících částech se zabývám instalací a možnostmi použití programu VLC. U jednotlivých typů streamování jsou uvedeny Flow Graphy z programu Wireshark a naměřené přenosové rychlosti. V závěru práce je provedeno zhodnocení naměřených výsledků a vyhodnocení grafů.

2 Typy přenosových tras

Pod pojmem přenosová trasa můžeme rozumět fyzikální prostředí, které je vhodné pro přenos informace. Přenosové trasy se dělí podle toho, jakým prostředím se signál šíří. Prostředí používané pro přenos informací můžeme rozdělit na metalické, do kterého patří koaxiální kabel nebo kroucený pár, na optické prostředí a bezdrátové. Každý typ přenosového vedení má své výhody, typická použití i omezení. V posledních letech je snaha přivést optické vlákno co nejblíže k zákazníkovi a tím mu nabídnout širší možnosti služeb.

2.1 Koaxiální kabel

Koaxiální kabely patří mezi přenosové trasy drátového typu. Podle konstrukce provedení se označují za tzv. asymetrické. Koaxiální kabel přenáší elektrické signály prostřednictvím dvou vodičů, jejichž role a postavení není stejná - je asymetrická. Jeden z vodičů tvoří silnější, nejčastěji měděným drátkem, který prochází středem celého kabelu. Druhý vodič v koaxiálním kabelu tvoří hustá vodivá síťka, která obepíná izolační vrstvu obklopující středový vodič. Důležité přitom je, že tato vodivá síťka má za úkol odstínit středový vodič od vlivů okolí, hlavně od vnějšího elektromagnetického pole, a rovněž zabránit vyzařování opačným směrem. Přenášený signál reprezentuje napětím mezi středovým vodičem a jeho opletením. [1]

Pro přenos dat se používá vysokofrekvenční koaxiální kabel, kde je středový vodič nejčastěji z měděného lanka. Izolaci tvoří PE nebo pěnový PE a vyrábějí se s impedancí 75 Ω nebo 50 Ω . Koaxiální kabely s impedancí 75 Ω se používají pro televizní rozvody v budovách a s impedancí 50 Ω se používaly pro datové služby. Koaxiální kabel podléhá normě IEC 61196-3-2:1997.

2.2 Kroucený pár

Kroucený pár je typ kabelu používaný v počítačových sítích a telekomunikacích. Kabel tvoří páry vodičů, které jsou po celé délce pravidelně zkrouceny a dále jsou i jednotlivé páry do sebe zakrouceny.

Žádný z obou vodičů není spojen se zemí ani kostrou, a proto je kroucený pár zařazován mezi symetrická vedení. Signál, který se přenáší po krouceném páru se vyjadřuje rozdílem potenciálů obou vodičů.

Kroucení vodičů způsobuje zlepšení elektrických vlastností kabelu. Zároveň jsou i minimalizovány přeslechy mezi páry a jsou omezeny elektromagnetické vlivy okolního prostředí na kabel. Při použití dvou souběžných vodičů, by se toto vedení chovalo jako anténa. Při přenášení

střídavého signálu by se do okolí vyzařovalo elektromagnetické vlnění, které závisí na frekvenci a souběhu obou vodičů. Při dnešních přenosových rychlostech v počítačových sítích již není tento efekt zanedbatelný. Zkroucení vodičů vede k výraznému snížení těchto rušivých jevů, které však nejsou odstraněny úplně, dochází jen k jejich snížení na přijatelnou úroveň.[1] Kabely UTP, STP, S-FTP vycházejí z mezinárodní normy ISO/IEC 11801 2nd ed.[2]

2.3 Optický kabel

Optické kabely mohou být rozděleny na vnitřní, venkovní, bezgelové, lamelové a samonosné. Z hlediska počtu přenášených vidů (paprsků) lze optická vlákna rozdělit na dvě základní skupiny.

Prvním typem jsou mnohovidová optická vlákna (multimode MM), která mají větší průměr jádra a pláště. Tyto vlákna jsou využívána nejvíce pro spoje na krátké vzdálenosti a v lokálních sítích. Přenášejí více vidů současně. Vlákna MM jsou náchylnější k multimódové disperzi signálu a to omezuje jak maximální délku, tak i přenosovou kapacitu.

Druhým typem je jednovidové vlákno (singlemode SM), které přenáší pouze jeden mód ve směru osy. Vyznačují se velmi malou multimódovou disperzí, malým útlumem – z toho vyplývá použitelnost na podstatně větší vzdálenosti, vyšší přenosová rychlost a větší přenosová kapacita.

Podle průběhu profilu indexu lomu se tato vlákna dále dělí na vlákna se skokovým indexem lomu (Step Index) a vlákna gradientní, jež mají průběh indexu lomu v jádře optimalizován pro co největší šířku přenosového pásma.

Vlákno má dva základní parametry, dané číslem uváděným u popisu typu kabelu. První číslo udává průměr jádra, ve kterém je paprsek přenášen a druhé číslo je průměr pláště, který zajišťuje přechodový efekt způsobující odraz a zároveň i určitou část mechanické stability vlákna. U multimodového dává normou ITU-T G.651.1 je to buď 62,5/125 μm nebo 50/125 μm , u singlemodového je to 9/125 μm , které udávají normy ITU-T G.652, G.652.C, G.652.D, G.653, G.654, G.655, G.656, G.657.A a G.657.C.[4]

2.4 Bezdrátový přenos

Výhoda bezdrátového přenosu spočívá v absenci jakéhokoliv fyzického média, signál se zde šíří volným prostorem. Nejsou zapotřebí tedy technické a finanční nároky na vybudování přenosové cesty. Protože bezdrátový přenos je mnohem více náchylný k různým druhům rušení, o to více je třeba klást důraz na dokonalost vysílacího a přijímacího zařízení.

K realizaci radiového přenosu využíváme elektromagnetických vln takových kmitočtů, které se efektivně šíří volným prostorem tzv. radiové vlny.

Podle uspořádání přenosové cesty můžeme rozlišovat radiové spoje:

- všesměrové, které pokrývají určité území signálem (TV, rozhlas, apod.),
- úzce směrové, slouží k překlenutí určité liniové vzdálenosti (radioreléové spoje),
- družicové, které využívají spojení přes telekomunikační družici.

Radiové systémy jsou tvořeny vysílací a přijímací částí. Vysílací část slouží k vysílání elektromagnetických vln pomocí antény, které zachycuje anténou přijímací část a převádí je na elektrický signál. Rozlišujeme dva typy přenosu:

- jednosměrný přenos – rozhlasové nebo televizní vysílání,
- obousměrný přenos – radiostanice, Wifi, bluetooth, GSM

V tab. 1 je uvedeno dělení rádiových vln a jejich použití.

Tab. 1: Dělení rádiových vln[5].

Název pásma	Symbol	Frekvence	Možnosti použití
Velmi dlouhé vlny	VLF	3 - 30 kHz	komunikace s ponorkami
Dlouhé vlny	LF	30 - 300 kHz	AM vysílání, navigace, časové signály
Střední vlny	MF	300 - 3000 kHz	AM vysílání
Krátké vlny	HF	3 - 30 Mhz	amatérské rádio, krátkovlnné vysílání
Velmi krátké vlny	VHF	30 - 300 MHz	FM rádio, televizní vysílání
Ultra krátké vlny	UHF	300 - 3000 Mhz	Wifi, GSM, televizní vysílání
Super krátké vlny	SHF	3 - 30 Ghz	Wifi, moderní radiolokátory, mikrovlnná zařízení
Extra krátké vlny	EHF	30 - 300 Ghz	radioastronomie, vysokorychlostní mikrovlnný přenos dat

3 Optické přístupové sítě

Ve světě telekomunikací se v posledních letech dostávají do popředí širokopásmové služby. Zahrnují IPTV, telefonní služby přes IP protokol a vysokorychlostní datové služby. Společně jsou označovány jako Triple Play. Převážná část poskytovatelů nabízí tyto služby formou zákaznických balíčků. Pokud budeme chtít provozovat síť s odpovídajícími kvalitními širokopásmovými vlastnostmi, pak současné metalické sítě nebudou v budoucnu již vyhovovat. Jedním z prostředků jak poskytnout koncovému uživateli potřebnou šířku pásma je využití optických technologií a budování optických přístupových sítí OAN (Optical Access Network).[4] S těmito sítěmi je spojována zkratka FTTx (Fiber to the ...), která označuje řešení přístupové sítě na základě optických vláken. Pomocí této technologie přestávají být optické přístupové sítě výsadou velkých firem a datových center a rozšíří se z páteřních sítí do přístupových sítí až ke koncovému uživateli.

3.1 Architektury FTTx

Optické řešení může být založeno:

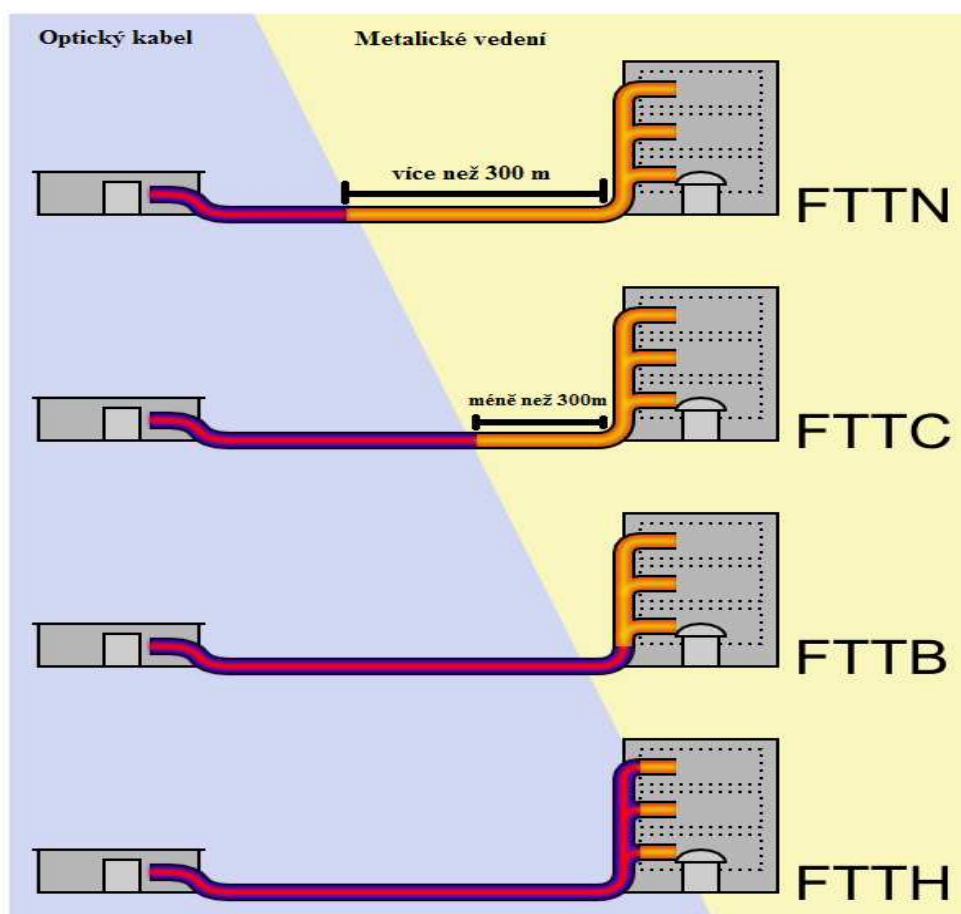
- na přenosu mezi dvěma body P2P (point to point) s individuálními vlákny z centrální jednotky provozovatele,
- na větvení s použitím mezilehlých aktivních prvků (AON),
- nebo na mnohobodové architektuře P2MP (point to multipoint) s pasivním odbočováním (PON).[4]

3.1.1 Typy sítí FTTx

Podle umístění optické síťové jednotky (ONU) v rámci přístupové optické sítě rozlišujeme několik typů sítí FTTx[6]:

- **FTTEx** (Fiber To The Exchange) – optika končí v ústředně (Central Office). Vzhledem k vzdálenostem k účastníkům připadá v úvahu spíše nasazení ADSL modemů.
- **FTTN** (Fibre To The Node) – optika je přivedena od poskytovatele služeb k určitému místu sítě, například do venkovního rozvaděče na sídlišti, kde se pak signál rozvádí metalickým vedením k účastníkům. V tomto případě je velmi výhodné použít VDSL. Poměr nákladů a užitné hodnoty je velmi dobrý. Tento model bude nejvíce používán při realizaci širokopásmových sítí.

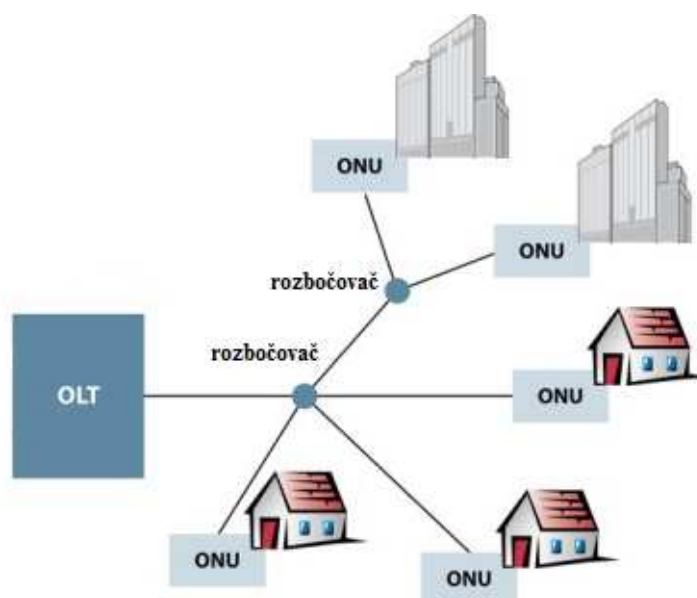
- **FTTC** (Fibre To The Curb) – přivedení optického vlákna k chodníku do venkovního rozvaděče. Jedná se o obdobu FTTN s tím, že rozdíl mezi nimi je dán bezprostředním okolím účastníků. „Node (Cabinet)“ umožňuje připojení 200 až 300 účastníků, čímž vykonává funkci kabelového rozbočovače. Zatímco v případě FTTC se jedná o napojení 10 až 20 účastníků zapojených na kabelovou odbočku umístěnou na kraji cesty (curb).
- **FTTB** (Fibre To The Building) – optické vlákno je přivedeno k budově. Optické zakončení je obvykle v suterénu budovy nebo blízko ní a odtud je pro přenos dat využito kroucených párů nebo koaxiálního kabelu. Toto řešení je vhodné pro velké budovy velkých společností. Pro vnitřní rozvod je možno použít VDSL po metalických párech.
- **FTTH** (Fibre To The Home) – optické vlákno je přivedeno přímo k účastníkovi. Jedná se o nejlepší řešení, ale také nejdražší. Navíc kapacita vlákna by nemohla být využita, díky současné kapacitě páteřních sítí.



Obr. 1: Přehled FTTx sítí.[7]

3.1.2 Pasivní optická síť (PON)

Pasivní optická síť (viz. obr. 2) se skládá z OLT (Optical Line Terminal) na straně ústředny a ze sady připojených ONU (Optical Network Unit), které slouží k zakončení optické trasy a k převodu optického signálu na elektrický. Obě zařízení vyžadují napájecí napětí. Pasivní optická síť dostala své jméno díky tomu, že se na trase mezi OLT a optickou síťovou jednotkou nepoužívají aktivní prvky, ale používají se pasivní rozbočovače a vazební členy k rozdělení a distribuci přenosové kapacity vlákna mezi koncové uživatele.



Obr. 2: Pasivní optická síť.

V roce 1995 došlo k standardizaci a rozvíjení PON sítí. Tyto specifikace nabízely uživatelům plnohodnotné širokopásmové služby pro přenos hlasu, dat a videa. Pro distribuci služeb byly stanoveny vlnové délky[4]:

- pro přenos hlasu a dat ve směru od sítě k uživateli – 1490 nm,
- pro přenos hlasu a dat ve směru od uživatele k síti – 1310 nm,
- pro přenos videa ve směru od sítě k uživateli – 1550 nm.

3.1.2.1 APON, BPON

APON je pasivní optická síť, která pro přenos informací využívá buněk ATM (Asynchronous Transfer Mode). Specifikace G.983.1 APON byla schválena organizací ITU-T (International Telecommunications Union-Telecommunication Standardization Sector) v roce 1998.

Nabízí dvě varianty[4]:

- symetrickou službu o rychlosti 155,52 Mbit/s,
- asymetrickou službu ze sítě k uživateli o rychlosti 622,08 Mbit/s a ve zpětném směru o rychlosti 155,52 Mbit/s.

V roce 2001 byl přijat standard pro BPON, který vychází z předchozího standardu APON a symetrická služba je doplněna o rychlost 622,08 Mbit/s. Přidává podporu WDM, dynamickou alokaci šířky pásma a má větší spolehlivost. Jako přenosového média využívá jednoho nebo dvou optických vláken a po jednom vlákně je obousměrná komunikace zajištěna vlnovým dělením.

3.1.2.2 GPON

V roce 2003 byla v ITU-T schválena specifikace G.984.1 GPON, která vychází ze specifikace G.983.X. Především pak rozšiřuje specifikace G.983.1 ve smyslu rychlosti při zachování principů širokopásmového přístupového systému. Přenos využívá ATM buněk, ale také metodu GEM. Umožňuje využití paketově orientovaných služeb jako Ethernet nebo IP. Přenosové rychlosti jsou nabízeny ve dvou variantách[4]:

- symetrická služba o rychlostech 1244,16 Mbit/s, 2488,32 Mbit/s,
- asymetrická služba ve směru ze sítě k uživateli o rychlostech 1244,16 Mbit/s, 2488,32 Mbit/s a ve zpětném směru o rychlostech 155,52 Mbit/s, 622,08 Mbit/s a 1244,16 Mbit/s.

3.1.2.3 EPON

Zavedení Ethernetu do přístupových sítí bylo zajištěno přijetím specifikace EPON. Cílem bylo zavedení standardu Ethernet až k uživateli a tím zjednodušení navázání lokálních sítí. Pro přenos jsou využívány Ethernet rámce s pevnou délkou 2 ms v obou směrech. EPON je navržen pro P2MP. EPON se také v literatuře označuje i jako GEPON, kde G značí gigabitovou přenosovou rychlost.

Standardem jsou specifikovány dva typy rozhraní, které se liší dynamikou a optickými výkony[4]:

- typ 1000 Base – PX10 je určen pro použití na vzdálenosti do 10 km s maximálním rozbočením 1:16,
- typ 1000 Base – PX20 je určen pro vzdálenosti do 20 km a rozbočením až 1:32.

Přenosová rychlost byla stanovena na 1244,16 Mbit/s symetricky.

3.1.2.4 10GEPON

Standard IEEE 802.3av pro 10 Gbit/s pasivní optickou síť. Zajišťuje zpětnou kompatibilitu na EPON. Přenosové rychlosti jsou:

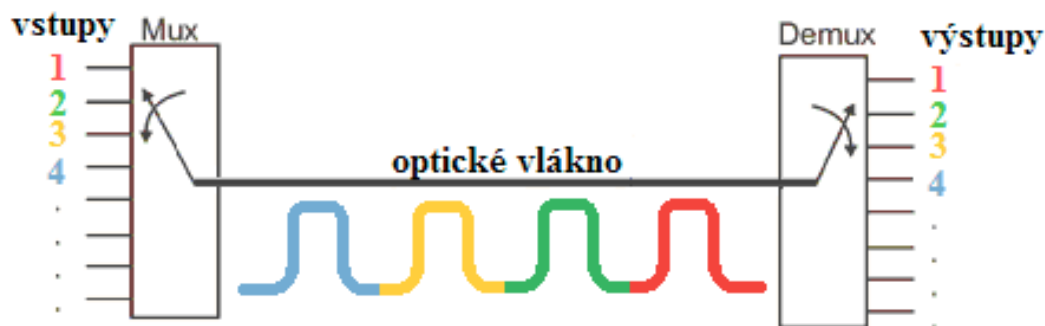
- symetrická služba o rychlosti 10 Gbit/s,
- asymetrická služba ve směru ze sítě k uživateli o rychlosti 10 Gbit/s a ve zpětném směru o rychlosti 1 Gbit/s.

Pokud použijeme síť 10GEPON společně s EPON, jsou ve směru od sítě k účastníkovi použity různé vlnové délky. Pro síť EPON je vlnová délka 1480 – 1500 nm a pro 10GEPON 1575 – 1580 nm. Při směru od účastníka k síti jsou použity vlnové délky 1260 – 1360 nm pro EPON a 1260 – 1280 pro 10GEPON. Z uvedených vlnových délek, si můžeme všimnout, že dochází k jejich překrývání. Z tohoto důvodu je použito časové dělení TDMA. Zároveň je 10GEPON kompatibilní s novými WDM – PON technologiemi.[8]

3.1.2.5 Technologie TDM a WDM

Pro vícenásobné využití jednoho optického vlákna se v optických komunikacích používá zejména TDM (časový multiplex) a WDM (multiplex vlnových délek).

TDM – při časovém sdružování kanálů vstupují signály z jednotlivých vysílačů do multiplexeru, který v přesně daném čase odebírá informace od vysílačů a sdružuje je do jednoho optického vlákna. Na konci optické trasy je umístěn demultiplexer, který rozdělí signály a nasměruje je k příslušným přijímačům. Teoretická přenosová rychlost je 40 Gbit/s, ale dnešní TDM systémy pracují maximálně s 10 Gbit/s. Nižší přenosová rychlost je způsobena nestabilitou rychlejších multiplexerů a demultiplexerů. Na obr. 3 můžeme vidět princip přenosu TDM.



Obr. 3: Princip TDM.

WDM – je systém, který nám umožňuje zvládnout vyšší přenosové rychlosti. WDM pracuje na systému sdružování vlnových délek. Na obr. 4 můžeme vidět, že na vstupu do multiplexeru je n vlnových délek, které jsou multiplexerem sloučeny do jednoho optického

vlákna a na výstupu optické trasy jsou demultiplexerem zpět rozděleny na jednotlivé vlnové délky. Takto rozdělené vlnové délky jsou posílány k jednotlivým přijímačům.



Obr. 4: Princip WDM.

Kombinací WDM a TDMA vzniknou sítě dosahující maximálních přenosových rychlostí. Nejlepší WDM systémy dovolují sdružování až 128 vlnových délek do jednoho optického vlákna. V tomto případě je dosažitelná přenosová rychlost dána součinem přenosové rychlosti TDM a počtu vlnových kanálů.[10] Tímto získáme pro jedno optické vlákno maximum 1,28 Tbit/s. Výsledkem budou hybridní sítě nazvané WDM-TDMA.

Díky standardizaci ITU-T (ITU-T G.694.2) došlo k jednotnému určení vlnových délek pro realizaci vlnového dělení a také k rozdělení na variantu hrubého CWDM (Coarse WDM) a hustého DWDM (Dense WDM) vlnového dělení podle vzájemného odstupu vlnových délek.

U technologie WDM -PON, jsou z OLT vysílány vlnové délky pro všechny účastníky v jednom vlákne a na optické trase se použije pasivní WDM filtr(AWG), který vydělí vlnové délky pro jednotlivé ONU jednotky.

3.1.2.6 Porovnání základních variant PON

Z níže uvedené tab. 2 vyplývá základní porovnání pasivních optických přístupových sítí APON/BPON, GPON, EPON (typ 2 - 1000 Base – PX20) a 10GEPON.

Tab. 2: Porovnání základních variant PON.

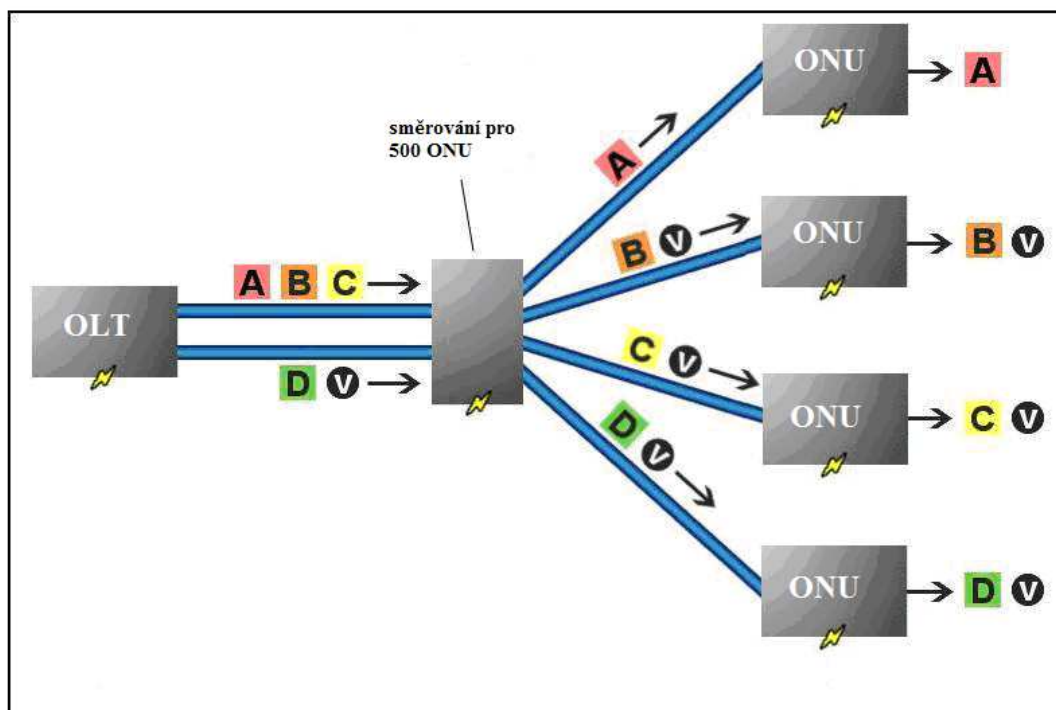
varianta PON	APON/BPON	GPON	EPON (typ 2), GEAPON	10GEAPON
standard	ITU-T G.983	ITU-T G.984	IEEE 802.3ah	IEEE 802.3av
přenos. rychlost - sestupný směr	155,52 nebo 622,08 Mbit/s	1,244 nebo 2,488 Gbit/s	1,25Gbit/s	10 Gbit/s
přenos. rychlost - vzestupný směr	155,52 nebo 622,08 Mbit/s (sym. BPON)	1,244 nebo 2,488 Gbit/s	1,25Gbit/s	1 Gbit/s nebo 10Gbit/s
vlnová délka - sestupný směr	1480 - 1500 nm	1480 - 1500 nm	1490 nm	1490 nm
vlnová délka - vzestupný směr	1260 - 1360 nm	1260 - 1360 nm	1310 nm	1310 nm
protokol na druhé vrstvě	ATM	ATM, Gem	Ethernet	Ethernet
max. počet uživatelů	32	64 předpoklad 128	32	32
logický/fyzický dosah sítě	20/20 km	60/20 km	20/20 km	20/20 km

3.1.3 Aktivní optické přístupové sítě (AON)

Aktivní optická síť (viz. obr. 5) se liší od pasivní optické sítě třemi hlavními rozdíly. Na trase jsou použity aktivní prvky sítě Ethernet k venkovnímu použití, které zajišťují přístup na vlákno a agregaci.

Místo sdílení přenosové šířky pásma mezi několika koncovými uživateli preferuje toto řešení vyhrazený kanál každému uživateli, který je plně obousměrný – kdy upload je roven downloadu.

Třetí rozdíl v architektuře oproti PON je maximální délka trasy. U PON musí být nejvzdálenější koncový uživatel ve vzdálenosti 10 – 20 km od centrální jednotky v závislosti na konkrétních podmínkách a počtu použitých rozbočovačů. AON má na druhé straně limit na vzdálenost přibližně 80 km v závislosti na počtu koncových uživatelů, kteří mají být obslouženi. Počet uživatelů je v tomto případě dán počtem použitých switchů a ne infrastrukturou samotnou, jak je tomu u PON. [4]



Popis: **A** - Data nebo VOIP pro jednoho účastníka **V** - Video pro více účastníků ..

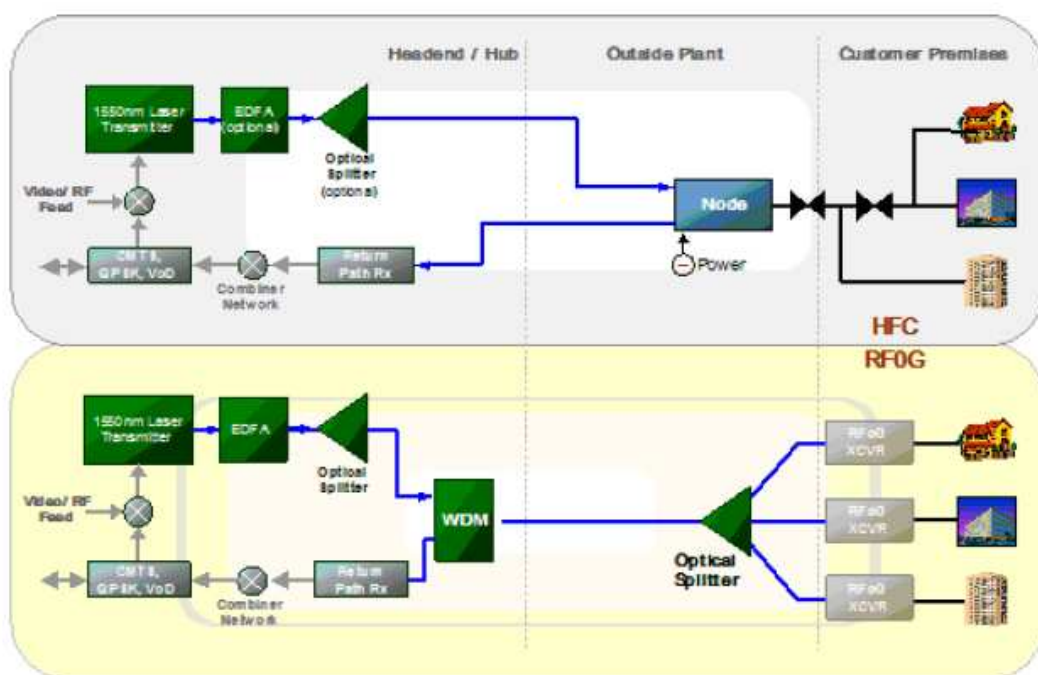
Obr. 5: Aktivní optických sítí.[11]

4 ARCHITEKTURA RFOG

RFoG je jednou z variant přístupové architektury PON/FTTH, umožňující zvláště snadnou integraci s technologiemi používanými v televizních kabelových sítích HFC – s ohledem na jednotné prostředí OSS pro datové služby, telefonování a televizi. RFoG sítě mohou v postupných fázích rozvoje služeb přecházet na architekturu GPON nebo GEPON.

Tuto technologii je možno také uznat za nástupce technologie xWDM, ve které jsou navrženy konkrétní vlnové délky, na kterých budou služby poskytovány.

Ve srovnání se sítí HFC, síť RFoG nabízí využití pasivní optické sítě založené na jednom optickém vlákne. Přenos sestupný i vzestupný (downstream i upstream) se provádí na dvou různých vlnových délkách, k účastníkovi 1550 nm a od účastníka 1310 nm nebo 1590 nm. Použití vlnové délky 1590 nm umožňuje RFoG podporovat systém PON, který se zakládá na délkách 1490 nm při přenosu ve směru downstream nebo 1310 nm ve směru upstream.[12] Na obr. 6 jsou znázorněny rozdíly sítí HFC a RFoG.



Obr. 6: Síť HFC a RFoG. [12]

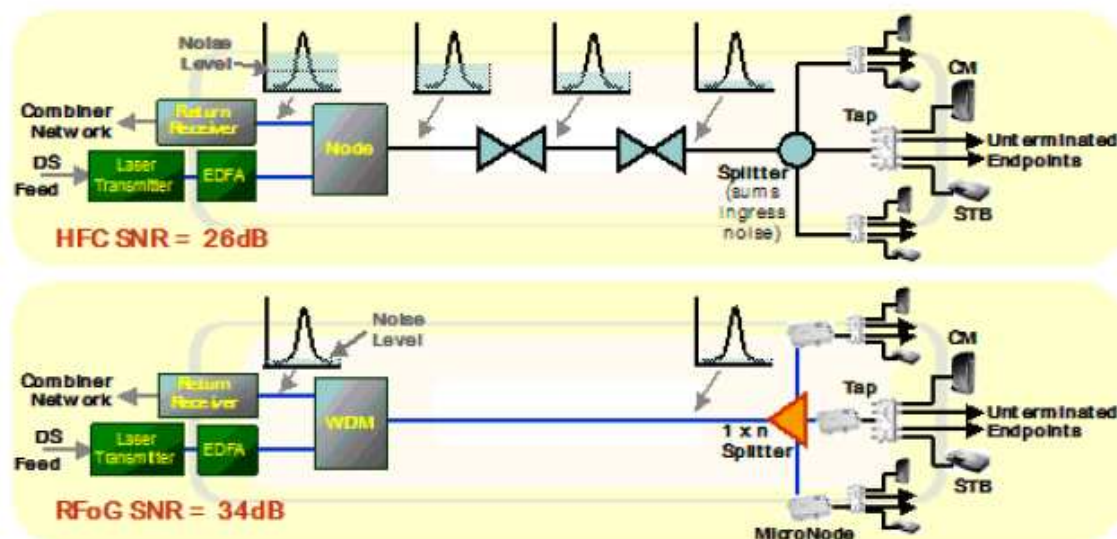
Jednou z nejdůležitějších funkcí sítě RFoG je to, že je kompatibilní s existujícími sítěmi RF/DOCSIS/HFC. RFoG síť pracují na stejných:

- CPE-Set-tops, kabelových modemech,
- systémech OSS/BSS,
- hlavních stanicích.

RFoG dodává stejné služby jako síť RF/DOCSIS/HFC s tím rozdílem, že dochází k omezení šumů se zvětšením užívaného pásma RF v obou směrech přenosu. RFoG i HFC mohou pracovat současně se stejnou hlavní stanicí. To způsobuje, že RFoG může být ideálním řešením pro zvětšování možností sítě.

4.1 Co je lepší v RFoG?

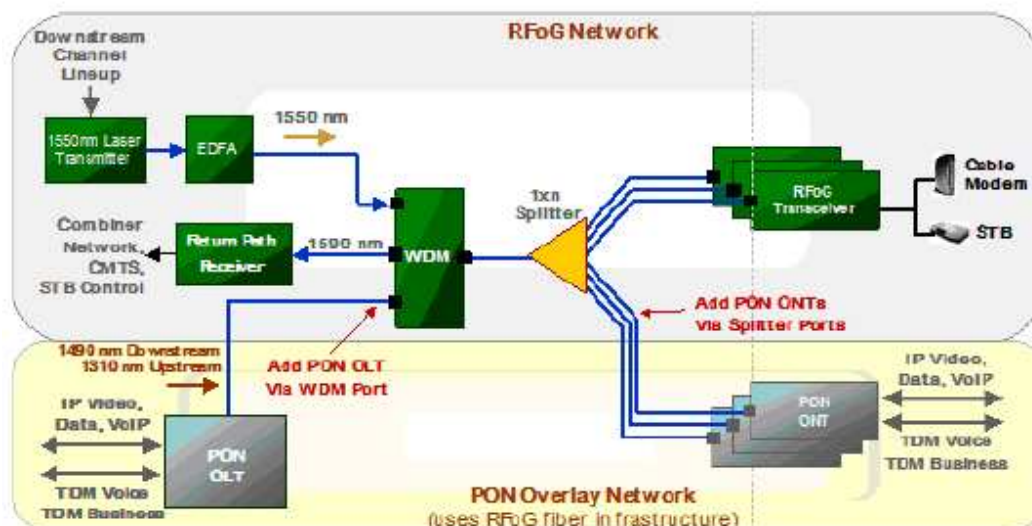
- zvětšení pásma přenosu k účastníkovi, což způsobuje, že dodavatel může zvětšit množství dodávaných účastnických služeb,
- rozšíření rozsahu přenosového pásma pro přenos od účastníka (5-42 MHz),
- minimalizace množství síťových prvků s napájením a zesilovačů. Díky tomu se zmenšují šумы v závislosti na konkrétním řešení viz obr. 7.



Obr. 7: Porovnání šumů v RFoG a HFC.[12]

4.2 Porovnání sítí RFoG a PON

Technologie RFoG je podporou pro existující technologie přenosu. Optické vlákno využívané v této technologii je stejné, jako v případě jiných pasivních sítí PON. Využití stejného optického vedení umožňuje dodání více rozvinutých služeb s gigabitovou šířkou pásma včetně doplňkové možnosti využití ethernetové sítě. Následující obr. 8 znázorňuje přidání sítě PON do RFoG.



Obr. 8: Přidání sítě PON do RFoG.[12]

V následující tab.3 je uvedeno porovnání RFoG s GPON a bez GPON. Sít' GPON pracuje s ATM buňkami.

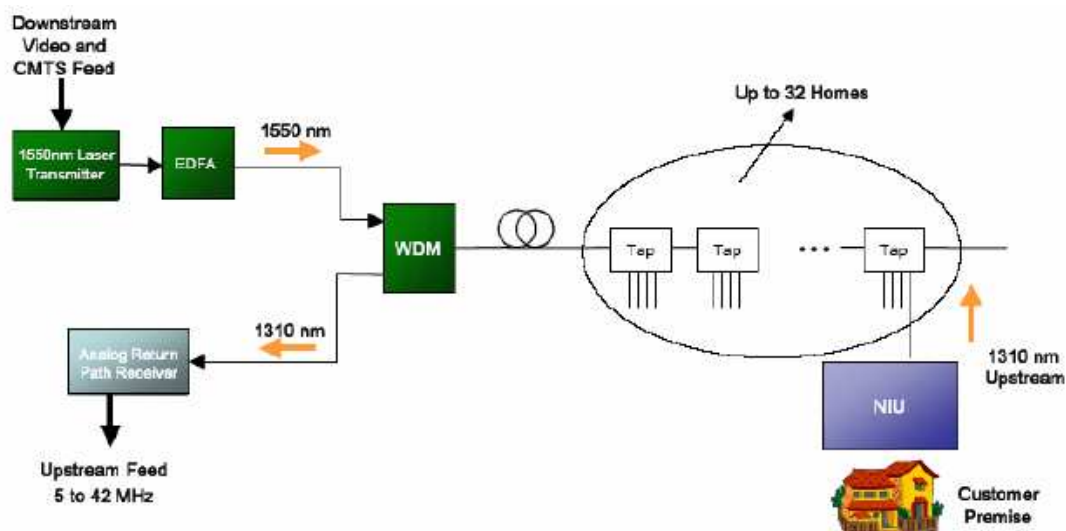
Tab. 3: Tabulka porovnání obou sítí.

	GPON s RFoG	RFoG bez GPON
Výhody	<ul style="list-style-type: none"> optika k účastníkovi GPON nabízí široké pásmo přenosu ve směru upstream nebo downstream velké množství služeb včetně možnosti dalšího rozvoje 	<ul style="list-style-type: none"> optika k účastníkovi nevýznamné změny v porovnání s infrastrukturou HFC možnost přechodu na architekturu GPON
Nevýhody	<ul style="list-style-type: none"> změna existující sítě HFC vysoká cena 	<ul style="list-style-type: none"> nedostatek doplňkových služeb v porovnání s HFC ceny srovnatelné s GPON

4.3 Typy sítí RFoG:

Síť RFoG bez uzlu (viz obr. 9):

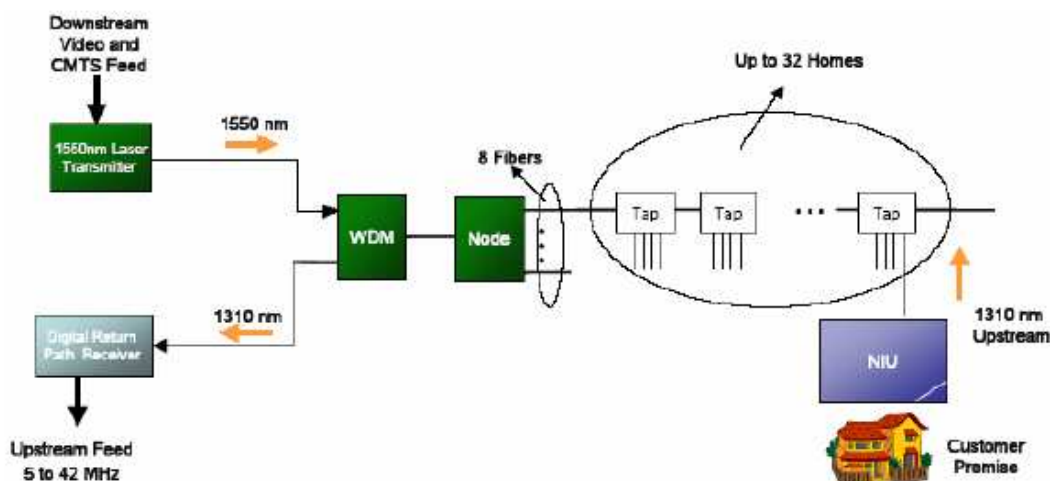
- využívá přenos přímo z WDM,
- dosah do 20 km od HE,
- do 32 účastníků na jedno vlákno (25 dB optického rozsahu).



Obr. 9: Pasivní architektura.[12]

RFoG s doplňkovým uzlem (viz obr. 10):

- dosah do 40 km od HE,
- do 32 účastníků na jedno vlákno z optického uzlu (18 dB optického rozsahu),
- do 256 účastníků obsluhovaných z optického uzlu zasílaného jedním vláknem z HE.



Obr. 10: Architektura s pomocí uzlu.[12]

Síť RFoG dovolují jednoduchý přechod ze sítě HFC na síť GPON postupným přidáváním zařízení a dávají větší šance na další rozvoj sítě. Nevýhodou těchto sítí je stále poměrně vysoká cena.

5 Televizní vysílání

5.1 Technologie IPTV

U řady lidí je mylná představa, že IPTV je televize šířená přes klasický Internet. IPTV sice využívá stejnou distribuční síť jako vysokorychlostní připojení k internetu, nejde však o klasické internetové vysílání. IPTV je zprostředkována po privátní IP síti, která je dostupná pouze zákazníkům, kteří si předplatili její služby, čili není dostupná široké veřejnosti. Za IPTV nelze považovat například živé vysílání ČT24 na webových stránkách České televize.

Přes IPTV se šíří televizní programy, které nemohou z důvodu autorských práv uvolnit své vysílání na internet, aby je bylo možné sledovat kdekoliv na světě. Veškeré akviziční pořady jako zahraniční filmy, seriály, ale i sportovní přenosy, televize nakupují většinou jen pro území České republiky a proto nemohou volně vysílat nejen přes Internet, ale také přes satelit. A podobně jako u satelitu tyto stanice používají kódování a diváci dekodovací karty, tak také u vysílání přes internetový protokol je divák odkázaný na speciální přijímač a dekodovací kartu.

5.2 Rozdíl mezi klasickou TV a IPTV

Při porovnání klasického televizního vysílání a provozování IPTV můžeme sledovat řadu odlišností:

- ve kterém místě dochází k přepínání mezi jednotlivými televizními programy,
- kolik televizních programů mohou zákazníci sledovat souběžně,
- co všechno může IPTV nabídnout kromě klasických televizních programů.

5.2.1 Klasická TV

Jde o souběžné vysílání více programů a výběr mezi nimi si provádí až příjemce na základě svých preferencí.

Dalším charakteristickým rysem klasického způsobu vysílání je jeho stejnost pro všechny příjemce. Jelikož jde o jednosměrný přenos, dostávají vlastně všichni příjemci stejný obsah. U tohoto přenosu lze udělat to, že se do společného toku přidá něco, co je zakódováno nebo jinak zabezpečeno, a dekodovat to mohou jen někteří příjemci. Ale na celém principu stejného obsahu pro všechny to nic nemění.

Větší šířka pásma umožňuje vysílat současně více programů směrem k zákazníkovi. U zákazníka jsou tyto programy přijímány v jednom okamžiku a tam dochází k výběru mezi nimi.

5.2.2 Přenos IPTV

Přenos IPTV má od klasického způsobu vysílání dvě základní odlišnosti. Nejedná se už o jednosměrné vysílání, jelikož zde existuje zpětná vazba mezi příjemcem a vysílatelem. Podle tohoto způsobu dokáže vysílatel přesně identifikovat diváka, monitorovat jeho preference, případně mu nabídnout individuální obsah, např. video na přání.

Druhou odlišností od klasického vysílání je menší šířka přenosového kanálu, který neumožňuje k příjemci přenášet více programů současně. Toto je zásadním rozdílem od klasického vysílání, že na více televizích v rámci jedné domácnosti je možné sledovat pouze jeden program ve stejnou dobu. Samotný signál sice lze různě rozbočit a rozvést k více zobrazovacím jednotkám, ale zdroj signálu je jen jeden a nabízí jen jeden program.

Tento způsob přenosu umožňuje současné technické řešení, kdy IPTV je provozováno přípojkami ADSL. Tyto přípojky umožňují pouze přenos jediného programu, který se stěží vejde do přenosového kanálu. Větší možnosti přináší provoz IPTV na přípojkách ADSL2+, které mají větší šířku přenosového kanálu a umožňují současný přenos více programů k uživateli. A nejlépe na tom samozřejmě budou vysokokapacitní optické přípojky (resp. různé varianty FTTx), které mají dostatek kapacity pro přenos ještě většího počtu programů souběžně.

Jestliže koncový uživatel přijímá pouze jeden program, pak je velice důležité vědět, jak funguje přepínání mezi programy a jak rychle se dokážou přepnout. Přepínání programů u IPTV může trvat o něco déle než u klasického vysílání, protože dochází k vyslání požadavku k vysílateli, který zprostředkuje na jeho základě výběr jiného programu.

5.3 Kabelová televize

Kabelová televize je označení pro technologii přenosu obrazu a dat prostřednictvím kabelových rozvodů. Účelem kabelové televize je poskytnout zákazníkovi širší nabídku televizních programů a širokopásmových datových služeb. Další výhodou je schopnost přenášet obraz ve vyšší kvalitě, díky stíněné kabeláži odolné proti vnějším ruchům.

5.3.1 Analogová kabelová televize

Klasickou službou kabelových operátorů je jednoznačně analogové šíření programů. Pro příjem analogové kabelové televize není zapotřebí vlastnit speciální přijímač. K příjmu stačí běžná televize s analogovým hyperband tunerem. Každý program je zvlášť vyslán na jiném kmitočtu. Využívá se šířky pásma 7 MHz nebo 8 MHz a zvuk je 5,5/5,74 MHz nebo 6,25/6,74 MHz od obrazové nosné.

5.3.2 Digitální kabelová televize

V poslední době se začaly kabelové sítě digitalizovat. S touto změnou představili operátoři novou službu pod názvem digitální kabelová televize, která přináší zákazníkovi spoustu výhod. Jedná se například o lepší kvalitu obrazu, programy ve vysokém rozlišení (HDTV) a elektronické programové průvodce. DVB-C je digitální způsob přenosu televizního vysílání prostřednictvím kabelové sítě, kde se díky multiplexu může přenášet několik programů najednou. Transport programů probíhá v normě MPEG-2 nebo MPEG-4. Aby mohl zákazník přijímat digitální kabelovou televizi, je nutné zapojit do účastnické zásuvky set-top-box, který převádí digitální televizní signál na analogový.

5.3.2.1 Kompresní formáty

Skupina MPEG standardizovala následující kompresní formáty:[15]

- **MPEG-1** – je kódování pro pohyblivý obraz a přídružený zvuk, který je použitý v digitálních datových nosičích s rychlostí přenosu 0,9 až 1,5 Mbit/s. Tento standard zahrnuje i kompresní formát MP3.
- **MPEG-2** – je všeobecné kódování pro pohyblivý obraz a přídružený zvuk. Zahrnuje kódovací standardy pro vzduchem šířené digitální televizní vysílání, televizní vysílání ATSC a DVB a disky DVD Video. Pro toto kódování se používá přenosová rychlost od 1,5 Mbit/s až do 15 Mbit/s. Pro TV signál je používaná rychlost 6 Mbit/s.
- **MPEG-3:** - tento standard je nyní sloučen se standardem MPEG-2. Dříve byl určený pro kódování standardu HDTV,
- **MPEG-4:** - je určen pro kódování audiovizuálního obsahu s nízkým bitratem. Přidává do formátu MPEG – 1 podporu 3D obsahu, audio/video „objektů“ a kódování s nízkou rychlostí přenosu.

6 Realizace streamování videa

6.1 DHCP

DHCP zajišťuje automatické přidělení IP adres a dalších parametrů sítě mezi které patří: adresa brány, adresa DNS serverů a maska podsítě. Je založený na modelu server-klient. IP adresy přidělované DHCP serverem jsou jedinečné tzn. že ve stejnou dobu nejsou v síti dvě zařízení se stejnou IP adresou.

DHCP server přiděluje IP adresy v síti třemi způsoby:

- **Automatické alokování** – při každém připojení přidělí klientovi stejnou IP adresu, kterou používá pouze tento klient,
- **Dynamické alokování** – klientovi je přidělená IP adresa jen na určitou dobu, případně na dobu než se klient odpojí od sítě,
- **Manuální alokování** – administrátor přidělí klientovi pevnou IP adresu, kterou DHCP server klientovi pouze oznámí.

6.1.1 Konfigurace DHCP na L3 přepínači

Defaultně je DHCP služba zapnutá, ale nemá specifikovány žádné parametry, proto nepřiděluje IP adresy.

Zapnutí DHCP serveru provedeme příkazem (defaultně zapnutý):

```
SWITCH(config)#service dhcp
```

Konfigurace adresního poolu

Abychom mohli začít s přidělováním adres, musíme nejdříve vytvořit DHCP Pool s požadovanými parametry. Těchto Poolů může být vytvořeno i více v rámci jednoho přepínače.

Nejprve vytvoříme pool s libovolným názvem, např. video

```
SWITCH(config)#ip dhcp pool video
```

Po vytvoření Poolu nastavíme jeho parametry v DHCP konfiguračním módu.

Příkazem network nastavíme adresu a masku sítě.

```
SWITCH(dhcp-config)#network 10.10.0.0 255.255.255.0
```

Adresu brány nastavíme příkazem:

```
SWITCH(dhcp-config)#default-router 10.10.0.1
```

Seznam dalších parametrů:

domain-name - nastavení DNS jména domény

dns-server - adresy DNS serverů (můžeme zadat 1 až 8 adres)

netbios-name-server - adresy WINS serverů (opět jich můžeme zadat až 8)

netbios-node-type h-node - typ pro Netbios, pro MS klienty musíme zadat Hybridní

lease 30 - pronájem adresy na 30 dní, pokud chceme zadat menší čas, tak je formát den hodina minuta (tedy třeba 0 0 10 = 10 minut)

option - můžeme definovat také libovolnou ze speciálních vlastností

Přiřazení DHCP Poolu k VLAN 1

Nejprve zadáním příkazu interface a definováním typu rozhraní, např. vlan 1, umožníme konfiguraci parametrů zvoleného rozhraní.

```
SWITCH(config)#interface vlan 1
```

Následujícím příkazem, přiřadíme vlan 1 adresu z rozsahu DHCP Poolu.

```
SWITCH(config-if)#ip address 10.10.0.100 255.255.255.0
```

Příkazem *no shutdown* zamezíme vypnutí interfacu a můžeme ukončit konfiguraci.

Pokud připojíme zařízení do portu, který je součástí vlan 1, tak toto zařízení obdrží adresu z námi definovaného DHCP Poolu.

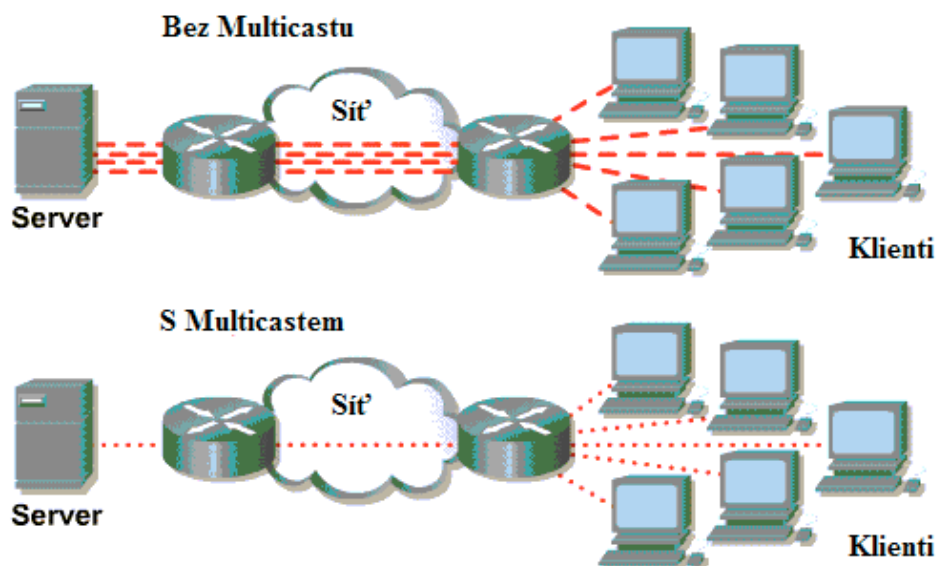
Informace o přiřazených IP adresách je možné získat zadáním příkazu:

```
SWITCH#show ip dhcp bindings
```

6.2 Multicast

Multicast je metoda efektivní komunikace jednoho odesílatele s více příjemci. Bez použití multicastu se vytvoří jednotlivá spojení pro každého příjemce. Tím je značně zatěžován server a část síťové infrastruktury je zbytečně přetížená přenosem duplicitních dat. Pomocí multicastu se informace současně doručuje skupině příjemců co nejefektivnějším způsobem tak, aby se zpráva přenášela přes každý síťový uzel pouze jednou a kopie se vytváří tehdy, když se cesty k příjemcům rozdělují.

Vysílač odesílá pakety na multicastovou adresu, která neslouží k identifikaci příjemce, ale skupiny. Zdrojová adresa je jeho normální unicastová adresa. Na routerech se pak paket odesílá do všech směrů, kde je nějaký příjemce (provádí se duplikace paketu). Mezi routery se multicast pakety přenáší pomocí multicast směrovacího protokolu (nejčastěji) PIM. Ten vytváří distribuční strom skrze síť a provádí přeposílání paketů. Příjemci (stanice) se musí zaregistrovat do multicast skupiny pomocí protokolu IGMP.[16]



Obr. 11: Porovnání unicastového a multicastového vysílání.[18]

6.2.1 Používané protokoly multicastu

IGMP - Internet Group Management Protocol

- používá se mezi klientem a routry nebo switchi,
- slouží k registraci účastníků k multicastovým skupinám,
- používají směrovače pro přihlášení své větve sítě do distribučního multicastového stromu,
- IGMP verze 1 obsahuje dva typy zpráv:
 - Multicast router odesílá membership query message na každém rozhraní pro zjištění, zda je na segmentu nějaká stanice se zájmem o multicastovou skupinu.
 - Příjemci odpovídají zasláním IGMP report message, která značí, že chtějí přijímat multicast pakety pro danou skupinu.
- IGMP verze 2 umožňuje odhlášení z multicastové skupiny pomocí zaslání Leave group,
- IGMP verze 3 umožňuje filtrování zdrojů, tedy aby si host řekl routeru, které zdroje chce přijímat.

IGMP snooping

Jedná se o ochranný a optimalizační mechanismus pro L2 switche. Standardně se multicast na switchi šíří broadcastově na všechny porty mimo příchozího. IGMP snooping nahlíží do dat 3. vrstvy RM - OSI v přenášených rámcích a detekuje join a leave zprávy. Podle toho sestavuje tabulku obsahující seznam portů s routery a klienty, na základě které přeposílá multicast pouze na porty s příjemci požadující multicastový přenos. Také odpovědi klientů odesílá pouze na router a ne ostatním klientům. Dynamicky tedy konfiguruje porty pro příjem multicastu.

PIM - Protocol Independent Multicast

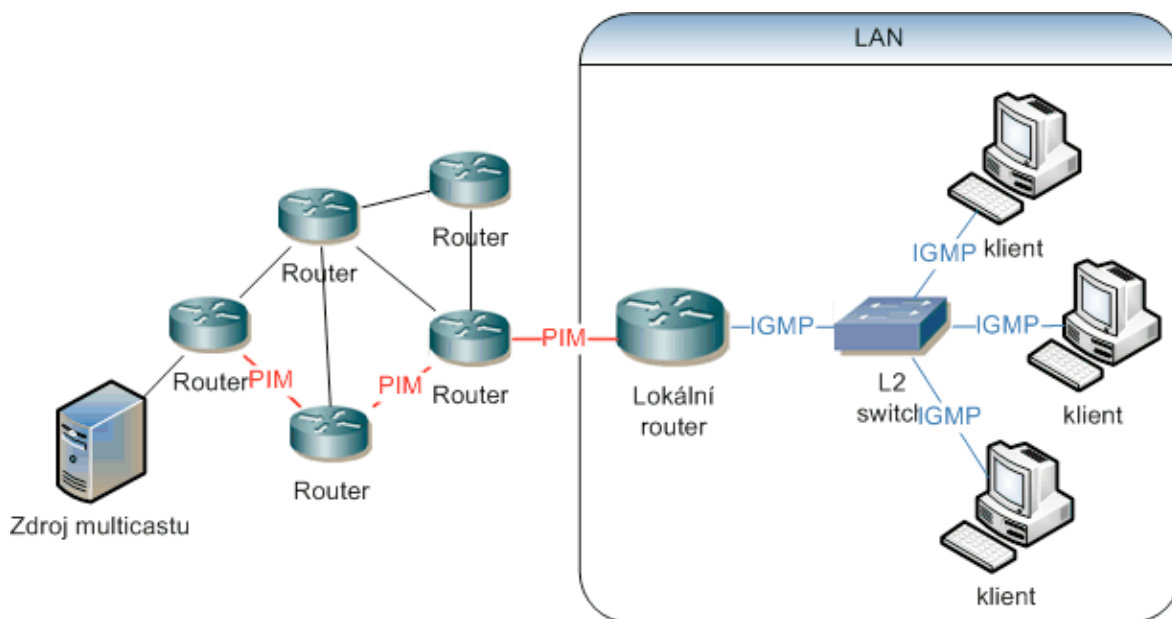
Jedná se o nejpoužívanější interní směrovací protokol pro multicast, který se používá ve dvou verzích:

- **Sparse Mode - PIM-SM**

Vychází z představy, že klienti, kteří chtějí přijímat multicast, se v síti nachází velmi řídce. Takže Sparse mode posílá provoz pouze routerům, kteří si o něj požádají.

- **Dense Mode - PIM-DM**

Dense mode vychází z představy, že téměř všichni chtějí provoz přijmout, takže jej odesílá do všech směrů (na všechny routery mimo toho, od kterého přišel). Pokud některý sousední router provoz nechce, tak to musí oznámit.



Obr. 12: Použití PIM a IGMP protokolu[16]

6.2.2 Nastavení multicastu

Při nastavení je nutné nejprve zapnout podporu multicast směrování na L 3 switchi cisco C3550. To se provede zadáním příkazu [17]:

```
(config)# ip multicast-routing
```

Následně je potřeba vybrat typ směrovacího protokolu PIM. Pro PIM - Dense Mode zadáme:

```
(config)# interface <typ><num>
(config-if)# ip pim dense-mode
```

Pro PIM - Sparse Mode použijeme příkazy:

```
(config)# interface <typ><num>
(config-if)# ip pim sparse-mode
(config)# ip pim rp-address <IP_RP>
```

Funkci multicastového provozu ověříme pomocí příkazů:

```
# show ip mroute
# debug ip igmp
# show ip igmp group
# show ip pim interfaces
# show ip pim neighbor
```

Konfigurace IGMP snooping na přepínači se provádí:

```
(config)# ip igmp snooping [vlan <vlan-ID>]
```

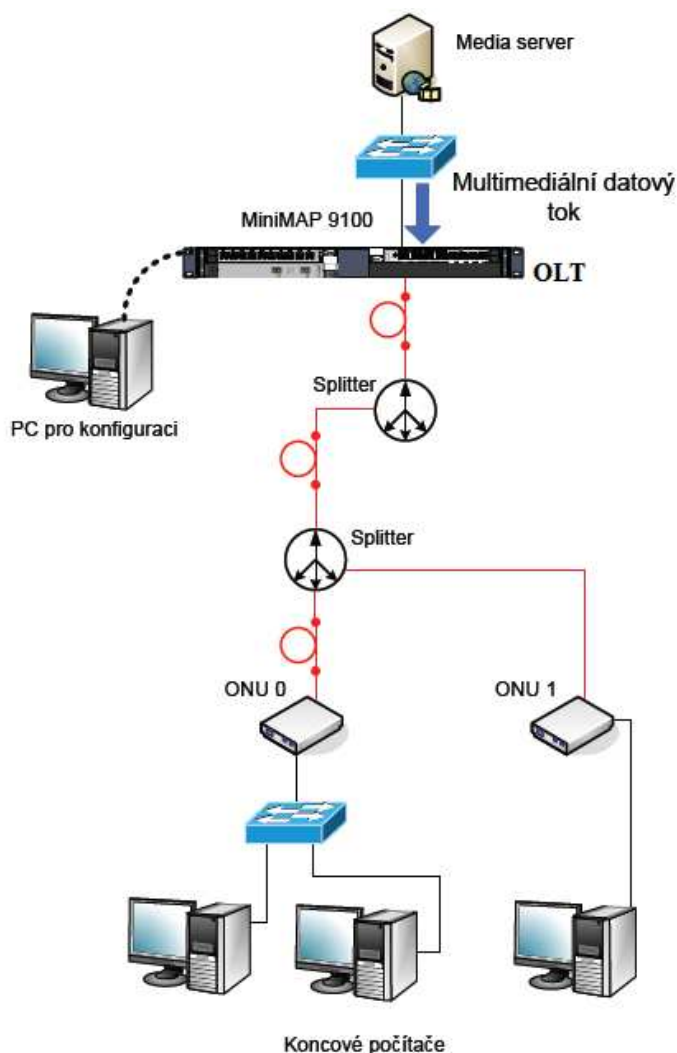
V případě potřeby může administrátor statickou konfigurací přinutit přepínač k zasílání konkrétního multicast provozu určeným rozhraním.

```
(config)# ip igmp snooping vlan <vlan-ID> static <mcast_ip>
interface <type> <num>
```

Ke kontrole aktuálního stavu přepínání multicast rámců na směrovači, můžeme použít následující příkaz:

```
# show ip igmp snooping [groups|querier]
```

6.3 Konfigurace sítě GEAPON



Obr. 13: Schéma testované sítě GEAPON[19].

Na konfiguračním počítači spustíme HyperTerminál s parametry: rychlost 9600 bit/s, datové bity 8, parita žádná. Přihlašovací jméno a heslo je: officer.

Příkazem `show interface` zjistíme číselné označení jednotlivých portů GEAPON.

IP adresu pro rozhraní modulu GEAPON nastavíme příkazem:

```
set interface { zjištěné číslo rozhraní } ipaddress=10.10.0.2
```

ONU jednotky přidáme příkazem:

```
create onu {jméno jednotky} onuid={ číslo jednotky ONU  
v rozsahu 0 - 31} interface= { číslo rozhraní GEAPON} mac= { MAC  
adresa jednotky}
```

Připojené jednotky ONU zjistíme příkazem:

```
show interface { jméno jednotky ONU}
```

Jednotka OLT umožňuje vytvoření QoS profilu, který vytvoříme zadáním příkazu:

```
create qospolicy {název profilu} maxdownstreamrate {hodnota rychlosti pro downstream} maxupstreamrate {hodnota rychlosti pro upstream}
```

Vytvořený QoS profil je nutné přiřadit k ONU jednotce pomocí příkazu:

```
add qospolicy {název profilu} interface={označení rozhraní GEPON a onuid} bidirectional vlan 1
```

Parametry profilu je možné ověřit příkazem:

```
show qospolicy {název profilu}
```

QoS

QoS je termín, kterým se označuje rezervace a řízení datových toků v telekomunikačních a počítačových sítích s přepínáním paketů. Protokoly pro QoS zajišťují dělení a vyhrazení dostupné přenosové kapacity, aby nedošlo ke snížení kvality síťových služeb. Mezi síťové služby citlivé na zpoždění patří například přenos hlasu, videa nebo síťové počítačové hry.

6.4 Instalace TV karty Pinnacle 330e

Jedná se o USB hybridní TV kartu, která umožňuje příjem digitálního a analogového televizního signálu. Instalaci karty jsem prováděl v operačním systému UBUNTU 10.10.0.4. Po připojení karty do USB slotu je nutné stáhnout ze stránek: <http://jiemeb.free.fr/pinnacle/> potřebný .deb balík podle jádra operačního systému a provést instalaci.

Pokud byla instalace úspěšná, zadáme příkaz `lsusb` do konzole a objeví se nám výpis:

```
Bus 001 Device 005: ID 2304:0226 Pinnacle Systems, Inc. PCTV 330e
```

Dále zadáme příkaz `dmesg` a v konzolovém okně se nám zobrazí výpis viz příloha č. 1.

6.5 Dostupnost DVB-T signálu

Dostupnost DVB-T signálu je možné ověřit po nainstalování nástroje *w-scan*. Nástroj jsem instaloval přes Správce balíků Synaptic vyhledáním položky *w-scan*. *W-scan* se ovládá přes konzoli a má několik parametrů. Zadáním *w-scan -h* do příkazového řádku můžeme provést výpis parametrů.

Pro použití naší DVB-T karty je dostatečné použít takto definovaný příkaz: *w-scan -f t -c CZ*

Po zadání příkazu se nám v konzoli zobrazí výpis, který je uveden v příloze č. 2.

6.6 VLC media player

VLC media player je multimediálním přehrávačem z VideoLAN projektu. Přehrávač VLC je zcela otevřeným globálním projektem studentů z francouzské technické školy École Centrale Paris. Nabízí komplexní podporu pro video soubory všech typů: MPEG-1, MPEG-2, MPEG-4, WMV, ASF, AVI, VideoCD, DVD, digitální satelitní kanály, digitální televizní kanály a živé video z internetu v unicast / multicast režimu v rámci širokopásmové sítě IPv4 nebo IPv6. Plně podporuje všechny důležité audio formáty - AAC, AC3 (A52), ADPCM, DTS, DV Audio, FLAC, MPEG Layer 1 / 2, Vorbis, WMA 1 / 2 a samozřejmě MP3.

VLC je jedním z nejvíce na platformě nezávislých přehrávačů na trhu. K dispozici jsou kvalitní verze pro Microsoft Windows, Linux, Syllable, BeOS, Mac OS X, BSD, Solaris a Pocket PC. Přitom používá knihovnu kodeků libavcodec z projektu FFmpeg, aby mohl ovládat mnoho ze svých podporovaných formátů. Také používá speciální knihovnu libdvcss pro rozluštění a přehrávání zakódovaného DVD záznamu.

Na Microsoft Windows, Linuxu, a některých dalších platformách, VLC poskytuje Mozilla plugin, který se dovoluje dívat na některé QuickTime a Windows média soubory vložené do internetových stránek, bez používání produktů Microsoftu nebo Applu.[20]

6.6.1 Instalace VLC

Instalci VLC je možné provést přes Správce balíků Synaptic vyhledáním položky *VLC*. Po úspěšném nainstalování VLC je nutné povolení portů pro komunikaci a igmp protokolu v bráně firewall systému UBUNTU. Tyto kroky provedeme příkazy:

```
iptables -A INPUT -p udp --dport 1234 -j ACCEPT
iptables -A INPUT -p igmp -j ACCEPT
```

Uložení se provede příkazem: `iptables-save`.

6.6.2 Lokální přehrávání

Přehrávání video souboru uloženého na ploše spustíme přes konzoli zadáním příkazu:

```
vlc /home/wizardes/Plocha/How.avi.
```

VLC umožňuje rovněž zobrazení digitálního televizního vysílání, přijímaného přes USB hybridní TV kartu. DVB-T otevřeme zadáním do konzole:

```
vlc dvb://frequency=594000000 :dvb-bandwidth=8
```

Frekvenci 594 Mhz jsme zjistili již dříve při vyhledávání DVB-T signálu pomocí programu w-scan. Výpis je uveden v příloze č.2.

6.6.3 Typy modulů pro streamování

Vysílání můžeme definovat pomocí několika modulů:

- *standard* – je základním výstupním modulem, který můžeme zkráceně zapsat jako *std*. Multimediální obsah ukládá do souboru, nebo jej posílá do sítě. Obsahuje tři parametry:
 - *access* – definuje typ internetového protokolu:
 - *http, https, mmsh* – vysílání na principu webového serveru,
 - *udp, rtp* – unicastové nebo multicastové vysílání na určitou adresu a port pomocí UDP protokolu,
 - *file* – uložení multimediálního zdroje do souboru.
 - *mux* – jedná se o kontejner ve kterém je multimediální obsah vysílán. Jen některé kontejnery jsou vhodné pro určité typy kodeků a nemusí podporovat všechny výstupní metody.
 - *ts* – transportní varianta MPEG2, podporuje nejvíce kodeků a všechny výstupní moduly,
 - *ps* – klasická varianta MPEG2, menší podpora kodeků a výstupní metody jsou pouze http a file,
 - *ogg* – podporuje kodeky MPEG a Xiph, výstupní metody jsou file a http,
 - *asf, asfh* – kontejnery určené pro aplikace Microsoft,
 - *avi, mov, mp4* – mají pouze výstupní metodu file.
 - *dst* – určuje místo, kam se má multimediální obsah vysílat, případně kde se má uložit.

- *duplicate* – modul, který umožňuje vícekrát přistupovat ke zdroji vysílání. Tento modul se používá při streamování digitální televize.
- *transcode* – používá se pro překódování vstupu např. pro změnu kvality, kodeku, přenosové rychlosti, nebo rozlišení,
- *display* – slouží pro zobrazení vstupu a při použití s *duplicate*, umožňuje zároveň streamovat a sledovat multimediální obsah,
- *rtp* – slouží pro vysílání po síti pomocí protokolu RTP,
- *es* – nejčastěji se používá pro oddělení obrazové od hudební složky.

6.6.4 Streamování videa

Hlavním důvodem použití VLC je možnost vytvoření stream media serveru. Pomocí VLC je možné streamovat video na různé IP adresy v síti, případně vytvořit broadcastové nebo multicastové vysílání.

6.6.4.1 Unicastové streamování

Podstatou unicastového vysílání je odesílání multimediálního obsahu na jednu konkrétní adresu v síti. Tato metoda je neefektivní, pokud chceme provádět streamování videa pro více příjemců. Jedním z důvodů neefektivity je pracná konfigurace vysílání, kde musíme zadávat příkazy pro každého příjemce zvlášť. Druhou nevýhodou je vyšší zatížení serveru a sítě, protože ke každému příjemci se odesílají data zvlášť.

Unicastové streamování se provádí zadáním příkazu:

```
vlc /home/wizardes/Plocha/How.avi --sout
'#std{access=udp,mux=ts,dst=10.10.0.3:1234}'
```

Příjem videa provedeme na počítači s IP adresou 10.10.0.3 zadáním příkazu:

```
vlc udp://@:1234
```

Z níže uvedeného obr. 14 vyplývá, že IP adresa stream media serveru je 10.10.0.5 a IP adresa příjemce je 10.10.0.3. Dále na tomto grafu můžeme pozorovat, že pokud není příjemce připojen odesílá se k němu streamované video, ale dochází ke zpětnému odesílání zprávy ICMP: Destination unreachable (toto je zobrazeno v čase 12,546 – 12,564). Od času 12,568 došlo k připojení příjemce streamovaného videa, proto dochází k ukončení vysílání ICMP zprávy.

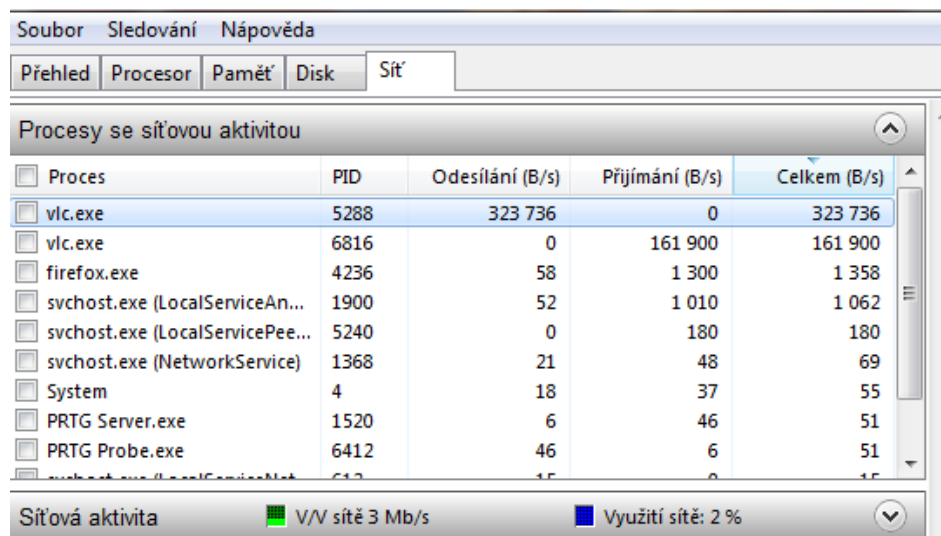
Unicastové vysílání

Time	10.10.0.5	10.10.0.3	Comment
12,546	(59851) →	(1234)	UDP: Source port: 59851 Destination port: search-agent
12,547	(1234) →	(59851)	ICMP: Destination unreachable (Port unreachable)
12,551	(59851) →	(1234)	UDP: Source port: 59851 Destination port: search-agent
12,551	(1234) →	(59851)	ICMP: Destination unreachable (Port unreachable)
12,555	(59851) →	(1234)	UDP: Source port: 59851 Destination port: search-agent
12,555	(1234) →	(59851)	ICMP: Destination unreachable (Port unreachable)
12,559	(59851) →	(1234)	UDP: Source port: 59851 Destination port: search-agent
12,560	(1234) →	(59851)	ICMP: Destination unreachable (Port unreachable)
12,563	(59851) →	(1234)	UDP: Source port: 59851 Destination port: search-agent
12,564	(1234) →	(59851)	ICMP: Destination unreachable (Port unreachable)
12,568	(59851) →	(1234)	UDP: Source port: 59851 Destination port: search-agent
12,570	(59851) →	(1234)	UDP: Source port: 59851 Destination port: search-agent
12,572	(59851) →	(1234)	UDP: Source port: 59851 Destination port: search-agent
12,574	(59851) →	(1234)	UDP: Source port: 59851 Destination port: search-agent
12,576	(59851) →	(1234)	UDP: Source port: 59851 Destination port: search-agent
12,578	(59851) →	(1234)	UDP: Source port: 59851 Destination port: search-agent
12,581	(59851) →	(1234)	UDP: Source port: 59851 Destination port: search-agent
12,584	(59851) →	(1234)	UDP: Source port: 59851 Destination port: search-agent
12,585	(59851) →	(1234)	UDP: Source port: 59851 Destination port: search-agent

Obr. 14: Flow Graph pro unicastové vysílání.

Na obr. 15 je možné sledovat přenosové rychlosti měřené na straně serveru. Jedná se o unicastové vysílání pro dva příjemce. Jeden příjemce je připojen v síti a druhý je spuštěn přímo na serveru (jedná se o proces s PID 6816). Z přenosových rychlostí je možné vidět, že server vysílá pro oba příjemce 323 kB/s (proces s PID 5288) a pro každého z nich je přijímací rychlost 161 kB/s.

Naměřené přenosové rychlosti pro unicastový provoz



Proces	PID	Odesílání (B/s)	Přijímání (B/s)	Celkem (B/s)
vlc.exe	5288	323 736	0	323 736
vlc.exe	6816	0	161 900	161 900
firefox.exe	4236	58	1 300	1 358
svchost.exe (LocalServiceAn...	1900	52	1 010	1 062
svchost.exe (LocalServicePee...	5240	0	180	180
svchost.exe (NetworkService)	1368	21	48	69
System	4	18	37	55
PRTG Server.exe	1520	6	46	51
PRTG Probe.exe	6412	46	6	51

Síťová aktivita: V/V síť 3 Mb/s, Využití síť: 2 %

Obr. 15: Naměřené přenosové rychlosti pro unicastový provoz.

6.6.4.2 Streamování z jiných zdrojů video signálu

Další možností využití programu VLC je streamování z různých zdrojů video signálu. Nejčastějším použitím je streamování DVB-T programů z TV karty. Streamování se provede zadáním příkazu:

```
vlc dvb://frequency=594000000 :dvb-bandwidth=8 --ts-es-id-pid --  
programs=257,258,259,260sout '#duplicate{dst=std{access=http,mux=ts,  
,dst=10.10.0.5/CT1},select=program=257,dst=std{access=http,mux=ts,d  
st=10.10.0.5/CT2},select=program=258,dst=std{access=http,mux=ts,d  
st=10.10.0.5/CT4},select=program=259,dst=std{access=http,mux=ts,d  
st=10.10.0.5/CT24},select=program=260}'
```

Příjem videa provedeme zadáním příkazu:

```
vlc http://10.10.0.5:8080/CT1  
vlc http://10.10.0.5:8080/CT2  
vlc http://10.10.0.5:8080/CT4  
vlc http://10.10.0.5:8080/CT24
```


6.6.4.3 Broadcastové streamování

Jednou z metod, jak vysílat multimediální data pro více příjemců je broadcastové vysílání. Streamování se provádí na broadcastovou adresu v síti. Nevýhodou broadcastového streamování je vyšší zatížení aktivních prvků. Vysílání je možné přijímat na všech stanicích v síti i na těch, pro které nemusí být určeno. Broadcastové vysílání se používá převážně v sítích, kde není možné použít multicast.

Broadcastové streamování se provádí zadáním příkazu:

```
vlc /home/wizardes/Plocha/How.avi --sout
'#std{access=udp,mux=ts,dst=10.10.0.255:1234}'
```

Příjem videa provedeme zadáním příkazu na jakémkoliv počítači s IP adresou z rozsahu 10.10.0.x:

```
vlc udp://@:1234
```

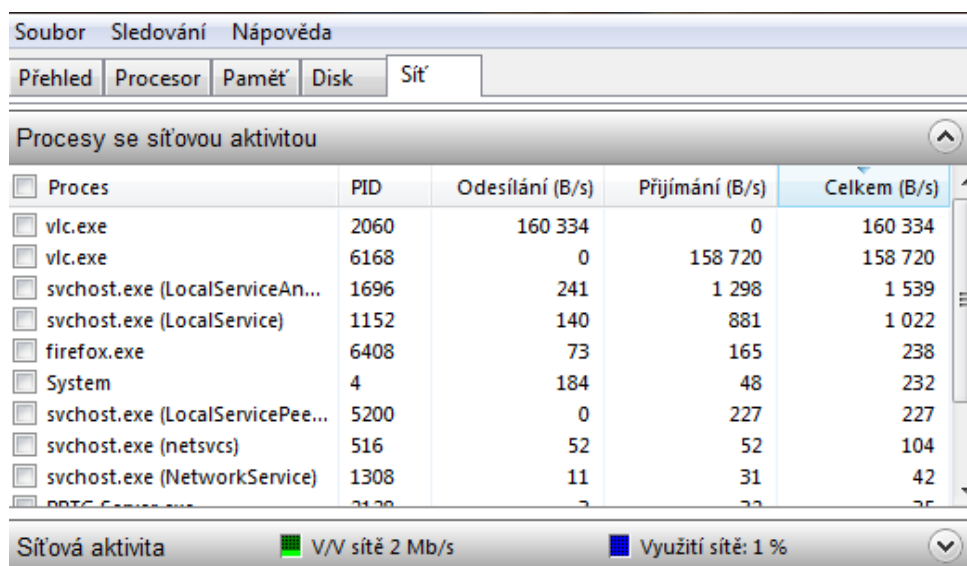
Broadcastové vysílání

Time	10.10.0.5	10.10.0.255	10.10.0.3	Comment
3,531	Source port: 57558			UDP: Source port: 57558 Destination port: search-agent
3,535	Source port: 57558			UDP: Source port: 57558 Destination port: search-agent
3,539	Audio Layer 3			MPEG-1: Audio Layer 3
3,539		Host Announcement P		BROWSER: Host Announcement PC1, Workstation, Server, NT Workstation, Potential Browser
3,542	Source port: 57558			UDP: Source port: 57558 Destination port: search-agent
3,546	Source port: 57558			UDP: Source port: 57558 Destination port: search-agent
3,550	Source port: 57558			UDP: Source port: 57558 Destination port: search-agent
3,553	Source port: 57558			UDP: Source port: 57558 Destination port: search-agent
3,557	Source port: 57558			UDP: Source port: 57558 Destination port: search-agent
3,560	Source port: 57558			UDP: Source port: 57558 Destination port: search-agent
3,564	Source port: 57558			UDP: Source port: 57558 Destination port: search-agent
3,568	Source port: 57558			UDP: Source port: 57558 Destination port: search-agent
3,571	Source port: 57558			UDP: Source port: 57558 Destination port: search-agent
3,575	Source port: 57558			UDP: Source port: 57558 Destination port: search-agent
3,579	Source port: 57558			UDP: Source port: 57558 Destination port: search-agent
3,582	Source port: 57558			UDP: Source port: 57558 Destination port: search-agent
3,586	Source port: 57558			UDP: Source port: 57558 Destination port: search-agent
3,590	Source port: 57558			UDP: Source port: 57558 Destination port: search-agent
3,593	Source port: 57558			UDP: Source port: 57558 Destination port: search-agent
3,597	Source port: 57558			UDP: Source port: 57558 Destination port: search-agent
3,601	Source port: 57558			UDP: Source port: 57558 Destination port: search-agent
3,604	Source port: 57558			UDP: Source port: 57558 Destination port: search-agent
3,608	Source port: 57558			UDP: Source port: 57558 Destination port: search-agent
3,612	Audio Layer 3			MPEG-1: Audio Layer 3
3,615				MPEG PES:
3,619	Source port: 57558			UDP: Source port: 57558 Destination port: search-agent
3,623	Audio Layer 3			MPEG-1: Audio Layer 3

Obr. 16: Flow Graph pro broadcastové vysílání.

Z předchozího obr. 16 vyplývá, že IP adresa stream media serveru je 10.10.0.5 a je prováděno vysílání na broadcastovou adresu 10.10.0.255. Dále můžeme pozorovat, že v čase 3,539 je provedeno z IP adresy 10.10.0.3 přihlášení k broadcastovému vysílání.

Naměřené přenosové rychlosti pro broadcastový provoz



Proces	PID	Odesílání (B/s)	Přijímání (B/s)	Celkem (B/s)
vlc.exe	2060	160 334	0	160 334
vlc.exe	6168	0	158 720	158 720
svchost.exe (LocalServiceAn...)	1696	241	1 298	1 539
svchost.exe (LocalService)	1152	140	881	1 022
firefox.exe	6408	73	165	238
System	4	184	48	232
svchost.exe (LocalServicePee...)	5200	0	227	227
svchost.exe (netsvcs)	516	52	52	104
svchost.exe (NetworkService)	1308	11	31	42

Síťová aktivita: V/V síť 2 Mb/s, Využití síť: 1 %

Obr. 17: Naměřené přenosové rychlosti pro broadcastový provoz.

Na obr. 17 můžeme sledovat přenosové rychlosti měřené na straně serveru. Jedná se o broadcastové vysílání, ke kterému jsou připojeni dva příjemci. Jeden příjemce je připojen v síti a druhý je spuštěn přímo na serveru (jedná se o proces s PID 6168). Z přenosových rychlostí je možné vidět, že server vysílá pro oba příjemce rychlostí 160 kB/s (proces s PID 2060) a pro každého z nich je přijímací rychlost 158 kB/s.

6.6.4.4 Multicastové streamování

Multicastové streamování je metoda, jak vysílat multimediální data více příjemcům v síti. Zdroj vysílá data na multicastovou IP adresu, ke které se příjemci musí přihlásit. Pro přihlášení k této multicastové skupině používají IGMP protokol. Výhodou multicastového streamování je, že data jsou odesílána pouze k registrovaným klientům, zároveň se ze serveru provádí pouze jedno vysílání na multicastovou adresu. Pokud je potřeba streamovaná data rozdělit pro více příjemců, provádí se replikace na aktivních prvcích v síti. Nevýhodou je nutná podpora multicastu u všech prvků v síti, přes které tento provoz prochází.

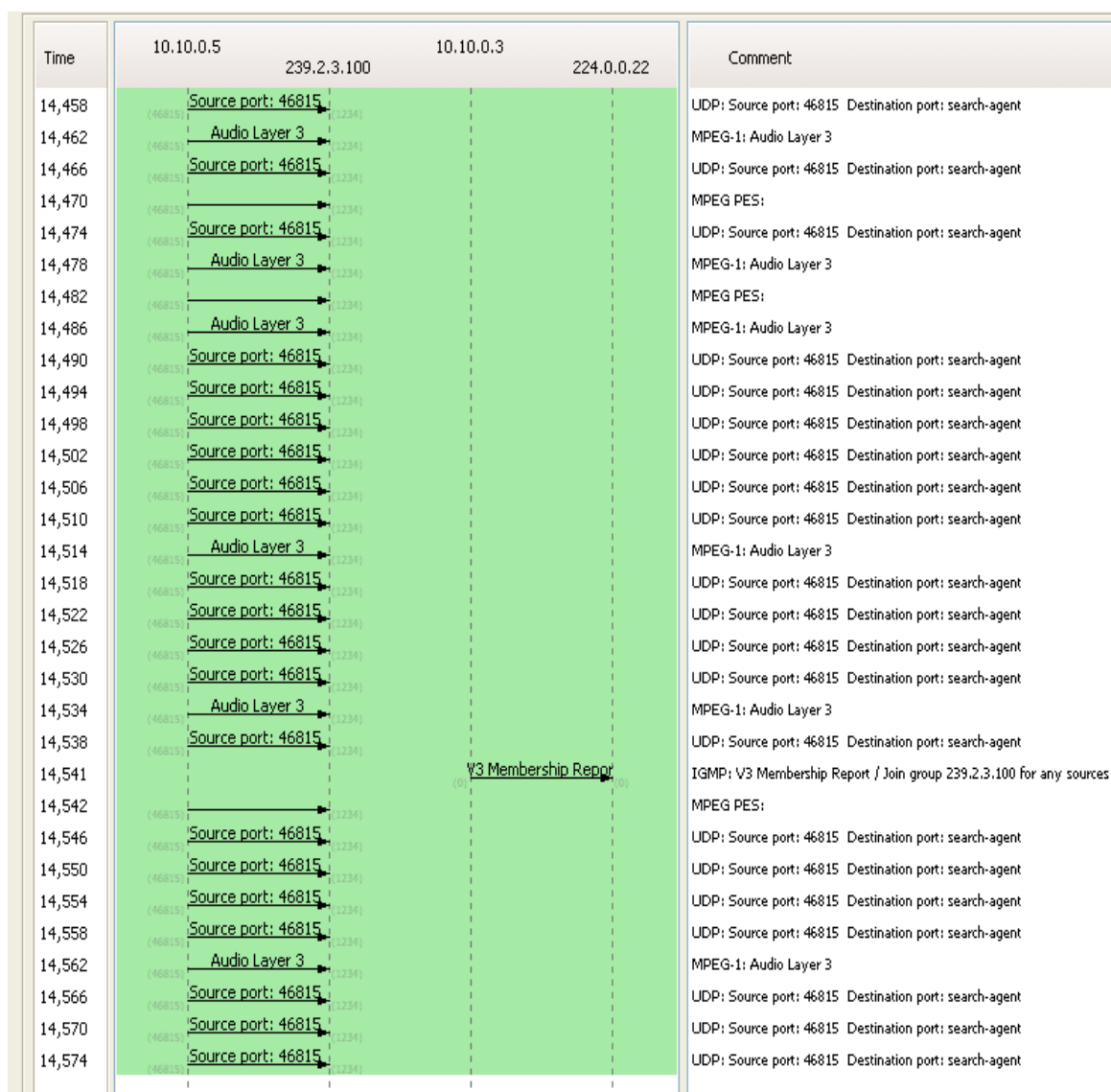
Multicastové streamování se provádí zadáním příkazu:

```
vlc /home/wizardes/Plocha/How.avi --sout
'#std{access=udp,mux=ts,dst=239.2.3.100:1234}'
```

Příjem videa provedeme zadáním příkazu:

```
vlc udp://@239.2.3.100
```

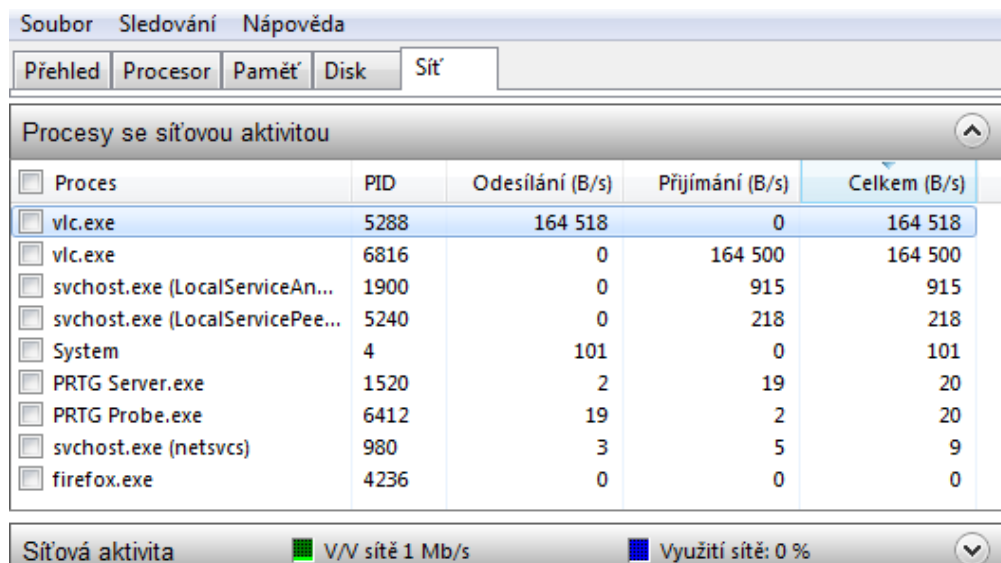
Multicastové vysílání



Obr. 18: Flow Graph pro multicastové vysílání.

Z výše uvedeného obr. 18 vyplývá, že IP adresa stream media serveru je 10.10.0.5 a je prováděno vysílání na multicastovou adresu 239.2.3.100. V čase 14,541 je provedeno z IP adresy 10.10.0.3 přihlášení k multicastové skupině a odeslání IGMP protokolu na IP adresu 224.0.0.22.

Naměřené přenosové rychlosti pro multicastový provoz



Proces	PID	Odesílání (B/s)	Přijímání (B/s)	Celkem (B/s)
vlc.exe	5288	164 518	0	164 518
vlc.exe	6816	0	164 500	164 500
svchost.exe (LocalServiceAn...	1900	0	915	915
svchost.exe (LocalServicePee...	5240	0	218	218
System	4	101	0	101
PRTG Server.exe	1520	2	19	20
PRTG Probe.exe	6412	19	2	20
svchost.exe (netsvcs)	980	3	5	9
firefox.exe	4236	0	0	0

Síťová aktivita V/V síť 1 Mb/s Využití sítě: 0 %

Obr. 19: Naměřené přenosové rychlosti pro multicastový provoz.

Na obr. 19 můžeme sledovat přenosové rychlosti měřené na straně serveru. Jedná se o multicastové vysílání pro dva příjemce. Jeden příjemce je připojen v síti a druhý je spuštěn přímo na serveru (jedná se o proces s PID 6816). Z přenosových rychlostí je možné vidět, že server vysílá pro oba příjemce rychlostí 164 kB/s (proces s PID 5288) a pro každého z nich je přijímací rychlost 164 kB/s.

6.6.5 VideoLan Manager (VLM)

Součástí VLC je VLM, který slouží k streamování více multimediálních zdrojů při použití jedné VLC instance. Ovládání VLM se provádí pomocí telnetového rozhraní. Výhodou VLM je možnost poskytování služby videa na přání.

VLM ovládáme pomocí tří elementů:

- *broadcast* – vysílání zdroje je ovládáno na straně administrátora (stream serveru),
- *vod* – video na přání, administrátor dává nabídku zdrojů vysílání a příjemci se k nim přihlašují a přehrávání si sami ovládají,
- *schedule* – slouží pro definování časového harmonogramu, podle kterého je ovládáno spouštění a zastavování broadcast zdrojů.

6.6.5.1 Příkazy VLM

Pro *broadcast* element používáme tyto příkazy:

- *new* – slouží pro vytvoření nového elementu, který můžeme libovolně pojmenovat. Za jménem se uvádí typ elementu.
- *setup* – slouží pro konfiguraci vytvořeného elementu,
 - *input* – používá se pro definování zdroje vysílání. Při vícenásobném použití vytváříme seznam skladeb.
 - *output* – definuje parametry síťového vysílání,
 - *enabled / disabled* – slouží pro povolení nebo zakázání elementu,
 - *loop / unloop* – umožňuje povolit nebo zakázat opakování seznamu skladeb dokola,
 - *option* – definice libovolného parametru,
- *del* – mazání elementu,
- *show* – zobrazení všech elementů. Při použití se jménem elementu, zobrazí jeho parametry.
- *save, load* – uložení, nahrání ze souboru,
- *control* – slouží k ovládání přehrávání,
 - *play* – spuštění,
 - *stop* – zastavení,
 - *pause* – pozastavení,
 - *seek* – posunutí.

Pro *schedule* element jsou následující příkazy:

- *new* – slouží pro vytvoření nového elementu, který můžeme libovolně pojmenovat. Za jménem se uvádí typ elementu.
- *setup* - slouží pro konfiguraci vytvořeného elementu,
 - *append* – slouží pro definování VLM příkazu, který se má provést podle rozvrhu.
 - *date* – datum a čas kdy se má provést příkaz *append*,
 - *period* – doba, po které se příkaz opět provede,
 - *repeat* – slouží pro definování počtu opakování,
- *del* – mazání elementu,
- *show* – zobrazení všech elementů. Při použití se jménem elementu, zobrazí jeho parametry.
- *save, load* – uložení, nahrání ze souboru.

Pro vod element jsou definovány tyto příkazy:

- *new* – slouží pro vytvoření nového elementu, který můžeme libovolně pojmenovat. Za jménem se uvádí typ elementu.
- *setup* – slouží pro konfiguraci vytvořeného elementu,
- *enabled / disabled* – slouží pro povolení nebo zakázání elementu,
- *input* – používá se pro definování zdroje vysílání,
- *del* – mazání elementu,
- *show* – zobrazení všech elementů. Při použití se jménem elementu, zobrazí jeho parametry.
- *save, load* – uložení, nahrání ze souboru.

6.6.5.2 Praktické použití elementů

Multicastové streamování je možné provést dvěma způsoby:

1) První způsob je možno realizovat pomocí příkazu:

```
vlc/home/wizardes/Plocha/How.avi--sout  
'#std{access=udp,mux=ts,dst=239.2.3.100:1234}'
```

2) Druhou možností, jak lze provést multicastové streamování je použití VLM s elementem *broadcast*.

Nejprve je nutné zpřístupnit telnetové rozhraní pomocí následujících příkazů:

```
vlc -I telnet &  
telnet localhost 4212
```

Po zadání těchto příkazů bude telnetové rozhraní vyžadovat heslo pro přihlášení. Výchozím heslem je: *admin*. Po úspěšném přihlášení můžeme začít zadávat následující příkazy:

```
new video broadcast  
setup video enabled  
setup video input /home/wizardes/Plocha/How.avi  
setup video output  
#std{access=udp,mux=ts,dst=239.2.3.100:1234}  
control video play
```

K oběma způsobům multicastového vysílání je možné se připojit zadáním:

```
vlc udp://@239.2.3.100
```

Ukázka použití elementu *schedule*:

Nejprve je nutné se přihlásit do telnetového rozhraní stejným způsobem, jak bylo uvedeno u elementu *broadcast*. Poté provedeme zadání parametrů časového harmonogramu. Následující příkazy definují spuštění videa, které bylo nastavené pomocí elementu *broadcast*. K spuštění videa dojde 1 května 2011 ve 20 hodin, za 7 dní se provede spuštění znovu, které se bude opakovat za dalších 7 dní.

```
new harmonogram schedule enabled
setup harmonogram date 2011/5/1-20:00:00
setup harmonogram period 0/0/7-0:0:0
setup harmonogram repeat 2
setup harmonogram append control video play
```

6.6.5.3 Video na přání

Další možností využití VLM je streamování videa na přání (VOD). Výhodou je možnost ovládat přehrávání na straně klienta, který může přehrávané video například posunout nebo pozastavit.

Nejprve zadáme do konzole příkaz:

```
vlc -I telnet --rtsp-host 10.10.0.5:5544
```

Tímto příkazem provedeme zpřístupnění telnetového rozhraní, ke kterému se můžeme připojit zadáním příkazu: *telnet localhost 4212* v novém konzolovém okně. Defaultní heslo je *admin*.

Následně můžeme vkládat jednotlivá videa na přání zadáním příkazu:

```
new how vod enabled input /home/wizardes/Plocha/How.avi
```

Úspěšné zadání je potvrzeno odpovědí *new*. Výpis z konzole telnetu uvádím v příloze č. 3.

Na jednotlivá videa se je možné připojit zadáním příkazu:

```
vlc rtsp://10.10.0.5:5544/how
vlc rtsp://10.10.0.5:5544/vitej
vlc rtsp://10.10.0.5:5544/big
```

Z následujícího obr. 20 vyplývá, že IP adresa stream media serveru je 10.10.0.5 a IP adresa příjemce je 10.10.0.3. Na začátku server nevysílá, nejprve musí dojít k přihlášení příjemce pomocí TCP protokolu k serveru (v časech 1,574 – 2,103). Následně od času 2,212 dochází pouze k vysílání streamovaného videa pomocí UDP protokolu od serveru k příjemci.

Začátek komunikace

Time	10.10.0.5	10.10.0.3	Comment
1,574	5544 > iclqv-sas [S	(3544) (3901)	TCP: 5544 > iclqv-sas [SYN, ACK] Seq=0 Ack=1 Win=5840 Len=0 MSS=1460 SACK_PERM=1
1,574	iclqv-sas > 5544 [A	(3544) (3901)	TCP: iclqv-sas > 5544 [ACK] Seq=1 Ack=1 Win=65535 Len=0
1,585	iclqv-sas > 5544 [P	(3544) (3901)	TCP: iclqv-sas > 5544 [PSH, ACK] Seq=1 Ack=1 Win=65535 Len=119
1,585	5544 > iclqv-sas [A	(3544) (3901)	TCP: 5544 > iclqv-sas [ACK] Seq=1 Ack=120 Win=5840 Len=0
1,605	5544 > iclqv-sas [P	(3544) (3901)	TCP: 5544 > iclqv-sas [PSH, ACK] Seq=1 Ack=120 Win=5840 Len=124
1,607	iclqv-sas > 5544 [P	(3544) (3901)	TCP: iclqv-sas > 5544 [PSH, ACK] Seq=120 Ack=125 Win=65411 Len=145
1,642	5544 > iclqv-sas [A	(3544) (3901)	TCP: 5544 > iclqv-sas [ACK] Seq=125 Ack=265 Win=6432 Len=0
1,646	5544 > iclqv-sas [P	(3544) (3901)	TCP: 5544 > iclqv-sas [PSH, ACK] Seq=125 Ack=265 Win=6432 Len=124
1,798	iclqv-sas > 5544 [A	(3544) (3901)	TCP: iclqv-sas > 5544 [ACK] Seq=265 Ack=249 Win=65287 Len=0
1,798	5544 > iclqv-sas [P	(3544) (3901)	TCP: 5544 > iclqv-sas [PSH, ACK] Seq=249 Ack=265 Win=6432 Len=480
1,806	iclqv-sas > 5544 [P	(3544) (3901)	TCP: iclqv-sas > 5544 [PSH, ACK] Seq=265 Ack=729 Win=64807 Len=177
1,806	5544 > iclqv-sas [A	(3544) (3901)	TCP: 5544 > iclqv-sas [ACK] Seq=729 Ack=442 Win=7504 Len=0
1,826	5544 > iclqv-sas [P	(3544) (3901)	TCP: 5544 > iclqv-sas [PSH, ACK] Seq=729 Ack=442 Win=7504 Len=165
1,832	iclqv-sas > 5544 [P	(3544) (3901)	TCP: iclqv-sas > 5544 [PSH, ACK] Seq=442 Ack=894 Win=64642 Len=197
1,860	5544 > iclqv-sas [A	(3544) (3901)	TCP: 5544 > iclqv-sas [ACK] Seq=894 Ack=639 Win=8576 Len=0
1,867	5544 > iclqv-sas [P	(3544) (3901)	TCP: 5544 > iclqv-sas [PSH, ACK] Seq=894 Ack=639 Win=8576 Len=165
1,869	iclqv-sas > 5544 [P	(3544) (3901)	TCP: iclqv-sas > 5544 [PSH, ACK] Seq=639 Ack=1059 Win=64477 Len=155
1,869	5544 > iclqv-sas [A	(3544) (3901)	TCP: 5544 > iclqv-sas [ACK] Seq=1059 Ack=794 Win=9648 Len=0
1,907	5544 > iclqv-sas [P	(3544) (3901)	TCP: 5544 > iclqv-sas [PSH, ACK] Seq=1059 Ack=794 Win=9648 Len=121
1,924	iclqv-sas > 5544 [P	(3544) (3901)	TCP: iclqv-sas > 5544 [PSH, ACK] Seq=794 Ack=1180 Win=64356 Len=145
1,924	5544 > iclqv-sas [A	(3544) (3901)	TCP: 5544 > iclqv-sas [ACK] Seq=1180 Ack=939 Win=10720 Len=0
1,948	5544 > iclqv-sas [P	(3544) (3901)	TCP: 5544 > iclqv-sas [PSH, ACK] Seq=1180 Ack=939 Win=10720 Len=91
2,103	iclqv-sas > 5544 [A	(3544) (3901)	TCP: iclqv-sas > 5544 [ACK] Seq=939 Ack=1271 Win=64265 Len=0
2,212	Source port: 57157	(57157) (3902)	UDP: Source port: 57157 Destination port: iclqv-pm
2,212	Source port: 37949	(37949) (3904)	UDP: Source port: 37949 Destination port: iclqv-nlc
2,212	Source port: 37949	(37949) (3904)	UDP: Source port: 37949 Destination port: iclqv-nlc

Obr. 20: Flow Graph pro video na přání – začátek komunikace.

Z následujícího obr. 21 vyplývá, že IP adresa stream media serveru je 10.10.0.5 a IP adresa příjemce je 10.10.0.3. Při posunutí videa na straně příjemce, dochází k odesílání TCP paketu od příjemce k serveru v časech 5,403 a 5,426. Následně je odeslaná odpověď ze strany serveru pomocí TCP protokolu v časech 5,462 a 5,464.

Posun videa

Time	10.10.0.5	10.10.0.3	Comment
5,382	(37949) Source port: 37949	(1394)	UDP: Source port: 37949 Destination port: iclvp-nlc
5,382	(37949) Source port: 37949	(1394)	UDP: Source port: 37949 Destination port: iclvp-nlc
5,382	(37949) Source port: 37949	(1394)	UDP: Source port: 37949 Destination port: iclvp-nlc
5,382	(37949) Source port: 37949	(1394)	UDP: Source port: 37949 Destination port: iclvp-nlc
5,382	(37949) Source port: 37949	(1394)	UDP: Source port: 37949 Destination port: iclvp-nlc
5,382	(37949) Source port: 37949	(1394)	UDP: Source port: 37949 Destination port: iclvp-nlc
5,403	(5544) iclvp-sas > 5544 [P	(1391)	TCP: iclvp-sas > 5544 [PSH, ACK] Seq=939 Ack=1271 Win=64265 Len=137
5,404	(57157) Source port: 57157	(1392)	UDP: Source port: 57157 Destination port: iclvp-pm
5,423	(37949) Source port: 37949	(1394)	UDP: Source port: 37949 Destination port: iclvp-nlc
5,423	(37949) Source port: 37949	(1394)	UDP: Source port: 37949 Destination port: iclvp-nlc
5,423	(37949) Source port: 37949	(1394)	UDP: Source port: 37949 Destination port: iclvp-nlc
5,423	(37949) Source port: 37949	(1394)	UDP: Source port: 37949 Destination port: iclvp-nlc
5,424	(5544) 5544 > iclvp-sas [P	(1391)	TCP: 5544 > iclvp-sas [PSH, ACK] Seq=1271 Ack=1076 Win=11792 Len=121
5,426	(5544) iclvp-sas > 5544 [P	(1391)	TCP: iclvp-sas > 5544 [PSH, ACK] Seq=1076 Ack=1392 Win=64144 Len=157
5,428	(57157) Source port: 57157	(1392)	UDP: Source port: 57157 Destination port: iclvp-pm
5,452	(57157) Source port: 57157	(1392)	UDP: Source port: 57157 Destination port: iclvp-pm
5,462	(5544) 5544 > iclvp-sas [A	(1391)	TCP: 5544 > iclvp-sas [ACK] Seq=1392 Ack=1233 Win=12864 Len=0
5,464	(5544) 5544 > iclvp-sas [P	(1391)	TCP: 5544 > iclvp-sas [PSH, ACK] Seq=1392 Ack=1233 Win=12864 Len=121
5,465	(37949) Source port: 37949	(1394)	UDP: Source port: 37949 Destination port: iclvp-nlc
5,465	(37949) Source port: 37949	(1394)	UDP: Source port: 37949 Destination port: iclvp-nlc
5,465	(37949) Source port: 37949	(1394)	UDP: Source port: 37949 Destination port: iclvp-nlc

Obr. 21: Flow Graph pro video na přání – posun videa.

Z dalšího obr. 22 vyplývá, že IP adresa stream media serveru je 10.10.0.5 a IP adresa příjemce je 10.10.0.3. Při ukončení komunikace ze strany příjemce, je tato informace odeslána k serveru pomocí TCP protokolu v časech 10,040; 10,062 a 10,081. Ze strany serveru jsou odesílány odpovědi k příjemci pomocí TCP protokolu v časech 10,040; 10,060 a 10,081.

Ukončení komunikace

Time	10.10.0.5	10.10.0.3	Comment
10,022	Source port: 37949		UDP: Source port: 37949 Destination port: iclvp-nlc
10,023	Source port: 57157		UDP: Source port: 57157 Destination port: iclvp-pm
10,040	iclvp-sas > 5544 [P		TCP: iclvp-sas > 5544 [PSH, ACK] Seq=1233 Ack=1513 Win=65535 Len=141
10,040	5544 > iclvp-sas [A		TCP: 5544 > iclvp-sas [ACK] Seq=1513 Ack=1374 Win=13936 Len=0
10,047	Source port: 57157		UDP: Source port: 57157 Destination port: iclvp-pm
10,048	Source port: 37950		UDP: Source port: 37950 Destination port: iclvp-wsm
10,048	Source port: 57158		UDP: Source port: 57158 Destination port: iclvp-nls
10,060	5544 > iclvp-sas [P		TCP: 5544 > iclvp-sas [PSH, ACK] Seq=1513 Ack=1374 Win=13936 Len=122
10,061	Source port: iclvp-		UDP: Source port: iclvp-nls Destination port: iclvp-nls
10,061	Destination unreach		ICMP: Destination unreachable (Port unreachable)
10,061	Source port: iclvp-		UDP: Source port: iclvp-wsm Destination port: iclvp-wsm
10,061	Destination unreach		ICMP: Destination unreachable (Port unreachable)
10,062	iclvp-sas > 5544 [F		TCP: iclvp-sas > 5544 [FIN, ACK] Seq=1374 Ack=1635 Win=65413 Len=0
10,081	5544 > iclvp-sas [F		TCP: 5544 > iclvp-sas [FIN, ACK] Seq=1635 Ack=1375 Win=13936 Len=0
10,081	iclvp-sas > 5544 [A		TCP: iclvp-sas > 5544 [ACK] Seq=1375 Ack=1636 Win=65413 Len=0

Obr. 22: Flow Graph pro video na přání – ukončení přijímání videa.

Naměřené přenosové rychlosti pro video na přání

Soubor Sledování Návod				
Přehled	Procesor	Paměť	Disk	Sít
Procesy se síťovou aktivitou				
Proces	PID	Odesílání (B/s)	Přijímání (B/s)	Celkem (B/s)
vlc.exe	5288	304 219	97	304 316
vlc.exe	6816	34	152 115	152 149
svchost.exe (LocalServiceAn...	1900	37	624	661
svchost.exe (LocalServicePee...	5240	0	298	298
System	4	27	0	27
svchost.exe (LocalServiceNet...	612	22	0	22
PRTG Server.exe	1520	3	5	8
PRTG Probe.exe	6412	5	3	8
svchost.exe (netsvcs)	980	2	4	6
svchost.exe (netlogon)	3736	0	0	0
Síťová aktivita ■ V/V síť 3 Mb/s ■ Využití sítě: 0 %				

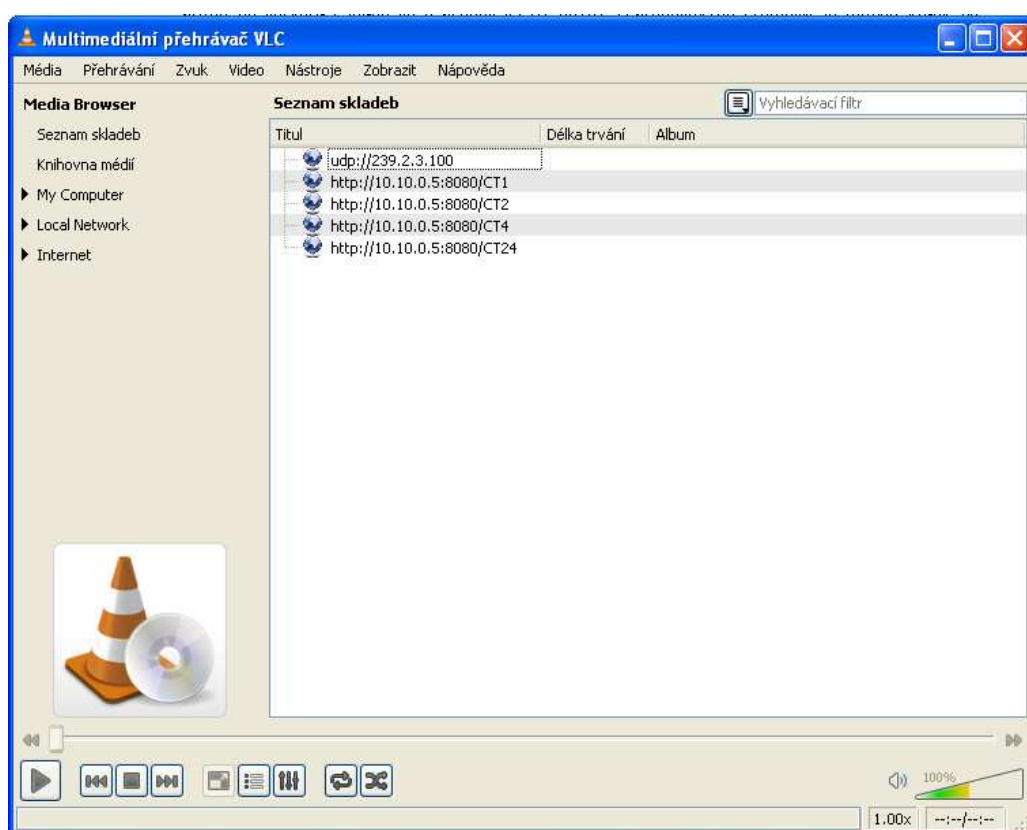
Obr. 23: Přenosové rychlosti pro video na přání.

Na obr. 26 můžeme sledovat přenosové rychlosti měřené na straně serveru. Jedná se o video na přání, které přijímají dva příjemci. Jeden příjemce je připojen v síti a druhý je spuštěn přímo na serveru (jedná se o proces s PID 6816). Z přenosových rychlostí je možné vidět, že server vysílá pro oba příjemce rychlostí 304 kB/s (proces s PID 5288) a pro každého z nich je přijímací rychlost 152 kB/s.

6.6.6 Vytvoření seznamu zdrojů signálu

Seznam lze vytvořit následujícím způsobem:

Po otevření přehrávače VLC v záložce „Zobrazit“ otevřeme položku „Seznam skladeb“. Zobrazí se tabulka seznamu skladeb, po kliknutí pravým tlačítkem myši zvolíme položku „Pokročilé otevírání“ a vybereme záložku „Síť“. Do políčka „Please enter a network URL:“ zapíšeme adresu kanálů, který chceme přijímat a potvrdíme tlačítkem „Zařadit do fronty“. Pro více přijímaných kanálů celý postup opakujeme. Mezi jednotlivými kanály v seznamu skladeb můžeme přepínat pomocí šipek ve spodní liště přehrávače.



Obr. 24: Ukázka seznamu skladeb ve VLC.

7 Závěr

Přenos signálů po optických vláknech je v současném telekomunikačním odvětví již samozřejmostí, ale pořád skrývá mnoho neobjevených možností. Přenos analogového signálu přes optické vlákno je velmi užitečný pro poskytovatele datových služeb a kabelových televizí. Přínosem je snížení provozních nákladů, použití kvalitnějších technických prostředků a tím zavedení většího množství služeb, což je důležité pro zákazníka. Poskytovatelé kabelové televize využívají technologie RFoG, kdy část metalické páteřní sítě nahradí optickým vláknem a tím dosáhnou lepších parametrů při přenosu signálu. Touto technologií vznikají HFC sítě.

Diplomová práce byla zaměřena na analýzu přechodu koaxiální sítě na RFoG. Úkolem této práce bylo zrealizovat v laboratorních podmínkách síť RFoG na bázi GEPON a ověřit její přenosové vlastnosti z hlediska kvality poskytovaných služeb. V této práci jsem se zaměřil na popis typu přenosových tras, kde rozděluji jednotlivá přenosová média. Popisuji optické přístupové, které jsem rozdělil podle architektury na pasivní optické sítě a na aktivní optické sítě. Rovněž jsem rozdělil typy sítí FTTx podle místa ukončení optické vlákna. V další části práce jsem zhodnotil a porovnal architekturu RFoG sítě a PON. V poslední kapitole teoretické části jsem popsal televizní vysílání, které jsem rozčlenil na klasickou TV, IPTV a kabelovou televizi. Popsal jsem přenos signálu pro analogovou a digitální kabelovou televizi. Uvedl jsem také nejčastěji používané kompresní formáty.

Praktická část byla zaměřena na realizaci sítě GEPON v laboratorních podmínkách. V laboratořích VŠB jsem provedl zapojení sítě GEPON podle uvedeného schématu. Následně jsem takto sestavenou síť nakonfiguroval podle uvedených příkazů. Po nastavení parametrů sítě, jsem nastavil DHCP server na L3 přepínači a na jednotlivých prvcích sítě jsem zprovoznil multicast. Na počítači jsem nainstaloval VLC player a Hybridní DVB – T kartu do USB. Pomocí programu VLC a DVB – T karty jsem streamoval video přes GEPON síť. Při tomto provozu jsem vyzkoušel různé metody streamování. Pomocí příkazů, které jsou uvedené v kapitole 6, jsem odzkoušel unicastové, broadcastové a multicastové vysílání. Zkoušel jsem i použití QoS politik u GEPON sítě. Při tomto testování jsem nastavoval pro jednu z ONU jednotek nižší downstream a sledoval odezvu při přehrávání videa. Při prvotním nastavení docházelo k nepatrnému zhoršení obrazu a při výrazném snížení přenosové rychlosti docházelo k výpadkům obrazu až došlo k úplné ztrátě.

Při testování provozu, kdy jsem zkoušel unicastové vysílání, jsem provedl odchycení provozu programem Wireshark. Komunikace byla zachycena v době začátku streamování ze serveru, před připojením klienta. Ze zachycené komunikace vyplývá, že server vysílá stream na unicastovou adresu, hned po započetí streamování, aniž by se přihlásil nějaký klient. Z klientské adresy, na kterou je odeslán stream se vrací k serveru zpráva ICMP: Destination unreachable. Po připojení klienta, se ukončí vysílání této zprávy. Z naměřených přenosových rychlostí vyplývá,

že pro každého příjemce unicastového vysílání se streamuje video ze serveru zvlášť. Vysílací přenosová rychlost je rovna součinu počtu klientů a potřebné přenosové rychlosti pro jeden stream.

Pro broadcastové streamování je prováděno vysílání multimediálních dat na broadcastovou adresu subnetu. Z broadcastové adresy je prováděno vysílání na všechny příjemce v síti. Jak je možné vidět ze zachycené komunikace, tak se příjemci přihlásí k broadcastové adrese. Při broadcastovém streamování je vysílací rychlost serveru rovna přijímací rychlosti pro jednoho příjemce. Server vysílá stream na broadcastovou adresu, ze které se provádí streamování do sítě. Takový způsob vysílání zatěžuje síť a síťové prvky, jelikož se vytváří stream z broadcastové adresy ke každému příjemci.

Multicastové streamování se provádí streamováním na multicastovou adresu. K této adrese se připojují jednotliví klienti pomocí protokolu IGMP. Vysílací přenosová rychlost serveru je rovna přijímací rychlosti jednoho klienta. Server provádí vysílání pouze na multicastovou adresu, ze které se stream dále replikuje v rámci sítě.

Při realizaci videa na přání je důležitý rozdíl oproti ostatním způsobům streamování v tom, že server začne vysílat až po připojení klienta. Veškerá komunikace mezi klientem a serverem je realizována pomocí TCP protokolu. Vysílací přenosová rychlost je rovna součinu počtu připojených klientů a potřebné přenosové rychlosti pro jeden stream. Video na přání umožňuje posouvání videa při přehrávání, ale nezobrazuje čas přehrávání. Další nevýhodou je chvilkové rozhození obrazu, při posouvání.

VLC umožňuje podporu oznamování vysílaného obsahu (SAP). Při zkoušení jsem zjistil, že tuto podporu, je možné nastavit pouze u unicastového nebo broadcastového vysílání.

Kvalita služeb je u GEAPON ovlivňována velikostí vloženého útlumu jednotlivých prvků, optického vlákna, svárů a konektorů.

Seznam použité literatury

- [1] *Katedra telekomunikační techniky* [online]. 2010 [cit. 2011-05-06]. Přenosová média. Dostupné z WWW: <http://kat440.vsb.cz/download/predmety/pm/PM_05.pdf>.
- [2] *Lanster* [online]. February 2008 [cit. 2011-05-05]. AMP NETCONNECT Guide to ISO/IEC 11801 2nd Edition Including Amendment 1. Dostupné z WWW: <http://www.lanster.com/pub/files/file/okablowanie_normy/Guide_ISO_11801_2nd_Amendment1.pdf>.
- [3] *Www.cs.vsb.cz/grygarek* [online]. 2005 [cit. 2011-05-06]. Přenosová média. Dostupné z WWW: <<http://www.cs.vsb.cz/grygarek/PS/lect/PREZENTACE/media.pdf>>.
- [4] FILKA, Miloslav. . *Optoelektronika pro telekomunikace a informatiku*. Brno : Centa, spol. s r.o., 2009. 369 s. ISBN 978-80-86785-14-1.
- [5] *Český telekomunikační úřad* [online]. 2004 [cit. 2011-05-06]. Plán přidělení kmitočtových pásem. Dostupné z WWW: <http://www.ctu.cz/1/download/plan-prideleni-kmitoctovych-pasem_1114099610.pdf>.
- [6] MER, Přemysl. Moderní komunikační technologie. . *Modul 5: Přístupové sítě*. 2003, 1, s. 77.
- [7] SearchTelecom.com [online]. 2010 [cit. 2011-05-05]. Fiber to the x (FTTx). Dostupné z WWW: <<http://searchtelecom.techtarget.com/definition/fiber-to-the-x-FTTx>>.
- [8] *Access server* [online]. 2009 [cit. 2011-05-06]. Pasivní optická přístupová síť EPON. Dostupné z WWW: <<http://access.feld.cvut.cz/view.php?navezclanku=pasivni-opticka-pristupova-sit-epon&cislocclanku=2009050003>>.
- [9] BRILLANT, Avigdor. *Digital and Analog Fiber Optic communications for CATV and FTTx applications*. New Jersey : Hoboken, 2008. 1055 s.
- [10] VAŠINEK, Vladimír. Zesilovače vláknově optických sítí. *Optoelektronika 3*. 2010, 1, s. 15.
- [11] PLODNÍKOVÁ, Věra. Řešení aktivních prvků v sítích FTTH. *Konference FTTH OSTRAVA 2010* . 2010, 1, s. 20.
- [12] *Satlan* [online]. 2010 [cit. 2011-05-04]. Architektura RFoG . Dostupné z WWW: <http://www.satlan.pl/aktualnosci/index.php?id_fragment=884&id_dzialu=69>.
- [13] *DigiZone* [online]. 2005 [cit. 2011-05-06]. Dostupné z WWW: <<http://iptv.digizone.cz/>>.
- [14] *E-archiv Jiřího Peterky* [online]. 2001 [cit. 2011-05-06]. Dostupné z WWW: <<http://www.earchiv.cz/>>.
- [15] *Http://www.cs.vsb.cz/dvorsky/* [online]. 2008 [cit. 2011-05-06]. Kompresce dat. Dostupné z WWW: <http://www.cs.vsb.cz/dvorsky/Download/Kod/KOD_4.pdf>.
- [16] *Samuraj.cz* [online]. 2009 [cit. 2011-05-04]. TCP/IP - skupinové vysílání IP Multicast a Cisco. Dostupné z WWW: <<http://www.samuraj-cz.com/clanek/tcpip-skupinove-vysilani-ip-multicast-a-cisco/>>.

- [17] *Wh.cs.vsb.cz/mil051* [online]. 2011 [cit. 2011-05-04]. Multicast Routing. Dostupné z WWW: <http://wh.cs.vsb.cz/mil051/index.php/Multicast_Routing>.
- [18] *Www.cs.vsb.cz/grygarek* [online]. 2010 [cit. 2011-05-05]. IP Multicast. Dostupné z WWW: <<http://www.cs.vsb.cz/grygarek/SPS/lect/multicast/multicast.html>>.
- [19] *Www.comtel.cz* [online]. 2010 [cit. 2011-05-06]. Laboratorní úloha EPON. Dostupné z WWW: <www.comtel.cz/files/download.php?id=4962>.
- [20] *VideoLan - VLC* [online]. 2008 [cit. 2011-05-06]. Dostupné z WWW: <<http://www.videolan.org/>>.
- [21] LAM, Cedric. *Passive Optical Networks: Principles and practice*. Oxford : Eseevier Inc., 2007. 324 s.
- [22] SIMPSON, Wes. *Video Over IP: IPTV, Internet Video, H.264, P2P, Web TV, and Streaming: A Complete Guide to Understanding the Technology*. : Focal Press , 2008. 504 s.

Seznam obrázků

Obr. 1: Přehled FTTx sítí.

Obr. 2: Pasivní optická síť.

Obr. 3: Princip TDM.

Obr. 4: Princip WDM.

Obr. 5: Aktivní optických sítí.

Obr. 6: Síť HFC a RFoG.

Obr. 7: Porovnání šumů v RFoG a HFC.

Obr. 8: Přidání sítě PON do RFoG.

Obr. 9: Pasivní architektura.

Obr. 10: Architektura s pomocí uzlu.

Obr. 11: Porovnání unicastového a multicastového vysílání.

Obr. 12: Použití PIM a IGMP protokolu.

Obr. 13: Schéma testované sítě GEAPON.

Obr. 14: Flow Graph pro unicastové vysílání.

Obr. 15: Naměřené přenosové rychlosti pro unicastový provoz.

Obr. 16: Flow Graph pro broadcastové vysílání.

Obr. 17: Naměřené přenosové rychlosti pro broadcastový provoz.

Obr. 18: Flow Graph pro multicástové vysílání.

Obr. 19: Naměřené přenosové rychlosti pro multicastový provoz.

Obr. 20: Flow Graph pro video na přání – začátek komunikace.

Obr. 21: Flow Graph pro video na přání – posun videa.

Obr. 22: Flow Graph pro video na přání – ukončení přijímání videa.

Obr. 23: Přenosové rychlosti pro video na přání.

Obr. 24: Ukázka seznamu skladeb ve VLC.

Seznam tabulek

Tab. 1: Dělení rádiových vln.

Tab. 2: Porovnání základních variant PON.

Tab. 3: Tabulka porovnání obou sítí.

Seznam příloh

Příloha č. 1 Výpis příkazu dmesg

Příloha č. 2 Výpis příkazu w_scan -f t -c CZ

Příloha č. 3 Výpis příkazu z telnetu

Příloha č. 1

Výpis příkazu dmesg

```
[ 834.189923] em28xx v4l2 driver version 0.0.1 loaded
[ 834.190138] em28xx: new video device (2304:0226): interface 0, class 255
[ 834.190141] em28xx: device is attached to a USB 2.0 bus
[ 834.190145] em28xx #0: Alternate settings: 8
[ 834.190148] em28xx #0: Alternate setting 0, max size= 0
[ 834.190150] em28xx #0: Alternate setting 1, max size= 0
[ 834.190153] em28xx #0: Alternate setting 2, max size= 1448
[ 834.190156] em28xx #0: Alternate setting 3, max size= 2048
[ 834.190159] em28xx #0: Alternate setting 4, max size= 2304
[ 834.190161] em28xx #0: Alternate setting 5, max size= 2580
[ 834.190164] em28xx #0: Alternate setting 6, max size= 2892
[ 834.190166] em28xx #0: Alternate setting 7, max size= 3072
[ 836.318924] successfully attached tuner
[ 836.323321] em28xx #0: V4L2 VBI device registered as /dev/vbi0
[ 836.323911] em28xx #0: V4L2 device registered as /dev/video1
[ 836.324000] input: em2880/em2870 remote control as /devices/virtual/input/input9
[ 836.324066] em28xx-input.c: remote control handler attached
[ 836.324070] em28xx #0: Found Pinnacle Hybrid Pro (em2882)
[ 836.324100] usbcore: registered new interface driver em28xx
[ 836.377932] em28xx-audio.c: probing for em28x1 non standard usbaudio
[ 836.377937] em28xx-audio.c: Copyright (C) 2006 Markus Rechberger
[ 836.379448] Em28xx: Initialized (Em28xx Audio Extension) extension
[ 836.409799] em2880-dvb.c: DVB Init
[ 836.468410] opening radio device and trying to acquire exclusive lock
[ 836.468414] em28xx-audio: unhandled mode 0
[ 836.468640] opening radio device and trying to acquire exclusive lock
[ 836.468642] em28xx-audio: unhandled mode 0
[ 837.912862] DVB: registering new adapter (em2880 DVB-T)
[ 837.912872] DVB: registering adapter 0 frontend 0 (Micronas DRX3973D DVB-T)...
[ 837.914417] Em28xx: Initialized (Em2880 DVB Extension) extension
```

Výpis příkazu w_scan -f t -c CZ

```
tune to: QAM_AUTO f = 594000 kHz I999B8C999D999T999G999Y999
(time: 02:43) service = CT 1 SM (Ceska televize)
service = CT 2 (Ceska televize)
service = CT 24 (Ceska televize)
service = CT 4 (Ceska televize)
service = CRo1-Radiozurnal (Ceska televize)
service = CRo2-Praha (Ceska televize)
service = CRo3-Vltava (Ceska televize)
service = CRo Radio Wave (Ceska televize)
service = CRo D-dur (Ceska televize)
service = CRo Leonardo (Ceska televize)
service = CRo Radio Cesko (Ceska televize)
tune to: QAM_64 f = 730000 kHz I999B8C23D0T8G4Y0
(time: 02:57) -----no signal-----
tune to: QAM_64 f = 730000 kHz I999B8C23D0T8G4Y0 (no signal)
(time: 02:58) -----no signal-----
dumping lists (11 services)
CT 1 SM;Ceska
televize:594000:I999B8C999D999M999T999G999Y999:T:27500:257:273=cze:289:0:257:0:0:0
CT 2;Ceska
televize:594000:I999B8C999D999M999T999G999Y999:T:27500:513:529=cze:545:0:258:0:0:0
CT 24;Ceska
televize:594000:I999B8C999D999M999T999G999Y999:T:27500:769:785=cze:801:0:259:0:0:0
CT 4;Ceska
televize:594000:I999B8C999D999M999T999G999Y999:T:27500:1025:1041=cze:1057:0:260:0:0:0
0
CRo1-Radiozurnal ;Ceska
televize:594000:I999B8C999D999M999T999G999Y999:T:27500:0:4113=cze:0:0:16641:0:0:0
CRo2-Praha ;Ceska
televize:594000:I999B8C999D999M999T999G999Y999:T:27500:0:4369=cze:0:0:16642:0:0:0
CRo3-Vltava ;Ceska
televize:594000:I999B8C999D999M999T999G999Y999:T:27500:0:4625=cze:0:0:16643:0:0:0
CRo Radio Wave ;Ceska
televize:594000:I999B8C999D999M999T999G999Y999:T:27500:0:4881=cze:0:0:16644:0:0:0
CRo D-dur ;Ceska
televize:594000:I999B8C999D999M999T999G999Y999:T:27500:0:5137=cze:0:0:16645:0:0:0

CRo Leonardo ;Ceska
televize:594000:I999B8C999D999M999T999G999Y999:T:27500:0:5393=cze:0:0:16646:0:0:0
CRo Radio Cesko ;Ceska
televize:594000:I999B8C999D999M999T999G999Y999:T:27500:0:5649=cze:0:0:16647:0:0:0
Done.
```

Výpis příkazů z telnetu

```
wizardes@wizardes-PC:~$ telnet localhost 4212
Trying ::1...
Connected to localhost.localdomain.
Escape character is '^]'.
VLC media player 1.1.4 The Luggage
Password:
Welcome, Master
> new how vod enabled input /home/wizardes/Plocha/How.avi
new
> new vitej vod enabled input /home/wizardes/Plocha/Vitej.avi
new
> new big vod enabled input /home/wizardes/Plocha/Big.avi
new
```